ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΑ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

Σπουδάστρια: Αλμπαντάκη Μαρία

Εισηγητής: Αεράκης Ζαχαρίας

Ηράκλειο
Δεκέμβριος 2014

Για την πολύτιμη βοήθεια τους και τη στήριξη στη διεξαγωγή και τελική ετοιμασία της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Αεράκη Ζαχαρία για την καθοδήγησή του, την οικογένεια και τους φίλους για την συνεχή υποστήριξη που μου προσέφεραν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **8**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ **9**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ **10**

1.1. **Γενικά περί μετρήσεων** **10**

1.1.1. Η σημασία των μετρήσεων **11**

1.1.2. Πειραματικό σχέδιο δοκιμής **13**

1.1.3. Στοιχεία ενός σχεδίου δοκιμής **14**

1.2. Μετρικό σύστημα **17**

1.2.1. Η ιστορία των μονάδων μέτρησης **17**

1.2.2. Μετρολογικό σύστημα της Ελλάδος **19**

1.2.3. **Μονάδες μέτρησης** **19**

1.2.3.1. Προθέματα **21**

1.2.3.2. Παράγωγες Μονάδες **23**

1.2.4. Εφαρμογές μετρικού συστήματος **23**

1.2.5. Γενικό πρότυπο για ένα σύστημα μετρήσεων **24**

1.2.6. Χρήσιμοι ορισμοί **25**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2.1. Εισαγωγή στα σφάλματα **26**

2.2. Ταξινόμηση σφαλμάτων **28**

2.2.1. Συστηματικά σφάλματα **28**

2.2.1.1. Αίτια δημιουργίας συστηματικού σφάλματος **30**

2.2.2. Τυχαία σφάλματα **31**

2.3. Θεωρία σφαλμάτων **32**

2.3.1. Η αρχή των ελαχίστων τετραγώνων κατά Gauss **38**

2.4. Το μέσο λάθος σαν μέσο λάθος σαν μέτρο ακριβείας στις μετρήσεις **40**

2.5. Η πρακτική εφαρμογή της θεωρίας Gauss **42**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΝΟΧΕΣ - ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ

3.1. Γενικά περί ανοχές – συναρμογές **45**

3.2. Ορισμοί **49**

3.3. Μαθηματικές πράξεις με ανοχές 55

3.4. Είδη Συναρμογών 58

3.4.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και το μέγεθος της χάρης ελεύθερων συναρμογών 59

3.4.2 Τρόποι σύσφιξης 61

3.5. Γραφική παράσταση συναρμογών 62

3.6 Σύστημα ISO 63

3.6.1. Μονάδα ανοχής 64

3.6.2. Ποιότητα 64

3.6.3. Θέση ονομαστικής διάστασης – Συμβολισμοί 65

3.6.4. Ελεγκτήρες οριακών διαστάσεων (περνά δεν περνά) 69

3.6.4.1. Κατασκευή ελεγκτήρων 72

3.6.4.2. Σημεία προσοχής κατά την χρήση ελεγκτήρων 73

3.6.4.3. Συντήρηση ελεγκτήρων – Αντελεγκτήρες 74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΗΚΗ 75

4.1. Γενικά 75

4.2. Υλικά κατασκευής πρότυπων βιομηχανικών μήκων 76

4.3. Ποιότητες πρότυπων βιομηχανικών μηκών 76

4.3.1. Από τι εξαρτάται η ποιότητα των πλακιδίων 77

4.4. Λείανση επιφανειών πρότυπων πλακιδίων 78

4.5. Σκοπός ύπαρξης πλακιδίων πρότυπου μήκους 80

4.6. Συναρμογή πλακιδίων 80

4.7. Περιγραφή και τεχνικές 83

4.8. Έλεγχος πλακιδίων 84

4.9. Χρήση και εφαρμογές των πλακιδίων πρότυπου μήκους 84

4.10. Συντήρηση πρότυπων πλακιδίων μήκους 89

4.10.1. Έλεγχος ακρίβειας πλακιδίων 89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ 91

5.1 Γενικά περί μετρήσεων 91

5.1.1 Κύρια χαρακτηριστικά των μετρητικών Οργάνων 91

5.1.2. Κατηγορίες βαθμονομημένων μετρητικών οργάνων 93

5.1.3. Βασικές έννοιες για όργανα με ενδείξεις 94

5.1.4. Μέθοδοι μέτρησης 95

5.2. Μηχανικά μετρητικά όργανα 96

5.2.1. Μεταλλικοί κανόνες- χάρακες 96

5.2.2. Παχύμετρα 99

5.2.3. Μικρόμετρα 106

5.3 Πνευματικά μετρητικά όργανα 111

5.3.1. Μέθοδος μετρήσεως 111

5.3.2 Ταχύτητα απόκρισης πνευματικού οργάνου 112

5.3.3. Αισθητήρια μέλη πνευματικών οργάνων 114

5.3.3.1. Αρχές λειτουργίας βασικών αισθητήριων μελών πνευματικών οργάνων 114

5.3.4. Εφαρμογές πνευματικών οργάνων γεωμετρικών συνθηκών 117

5.3.5. Διαφοροποίηση των πνευματικών οργάνων 119

5.4. Ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης 121

5.4.1. Σύστημα λειτουργίας και βασικά συστατικά 122

5.4.1.1. Ηλεκτρονική λειτουργία οργάνου 123

5.4.1.2. Μετρητικές κεφαλές 123

5.4.2. Ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης ύψους 124

5.4.3. Σημεία προσοχής στις μετρήσεις με ηλεκτρονικά όργανα 126

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ 127

61 Εισαγωγή στη τραχύτητα 127

6.2 Μειονεκτήματα τραχύτητας 129

6.3 Χρήσιμοι ορισμοί της τραχύτητας 129

6.4 Μέτρηση τραχύτητας 131

6.4.1. Προσδιορισμός της μέσης γραμμής (Mean line) 133

6.4.2 Προσδιορισμός κεντρικής γραμμής (Central Line) 134

6.4.3 Προσδιορισμός μέσης αριθμητικής τραχύτητας Ra 135

6.4.4. Υπολογισμός μεγίστου βάθους ή μέγιστης τραχύτητας R_t 135

6.4.5 Υπολογισμός καμπύλης φέρουσας επιφάνειας 136

6.4.6 Καθορισμός μήκους ολοκλήρωσης ή αποκοπής (Cut off) 137

6.4.7.Μαθηματικός υπολογισμός διαφόρων παραμέτρων επιφανειών **138**

6.5. Αποκλίσεις μορφής **140**

6.6. Μέθοδοι ελέγχου επιπεδότητας και μέτρησης τραχύτητας επιφάνειας **144**

6.6.1. Υποκειμενικές μέθοδοι **144**

6.6.2. Αντικειμενικές μέθοδοι **145**

6.7. Συμβολισμός **150**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ **153**

7.1. Εισαγωγή στην κανονική κατανομή **153**

7.2. Χαρακτηριστικά και περιγραφή καμπύλης **153**

7.3. Υπολογισμός πιθανοτήτων μιας τυχαίας μεταβλητής **155**

7.4. Καμπύλη του νόμου Gauss **159**

7.5. Εφαρμογή της θεωρίας του Gauss **161**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ **165**

Περίληψη

Στην εργασία αυτή γίνεται αναφορά στην έννοια της μέτρησης, στα μετρητικά συστήματα διεθνώς χρησιμοποιούμενα, στην έννοια του σφάλματος σε μια μέτρηση, στις ανοχές διαστάσεων θέσης και μορφής. Συχνά εμφανιζόμενα στις διάφορες εφαρμογές. Γίνεται αναφορά στα πρότυπα βιομηχανικά μήκη, σε όλα τα είδη των μετρητικών οργάνων (μηχανικά - πνευματικά – ηλεκτρονικά). Συχνά χρησιμοποιούμενα στο εργαστήριο. Εκθέτεται η λειτουργία τους και αναφέρονται αρκετά κατασκευαστικά τους στοιχεία. Στο τέλος του θεωρητικού μέρους της εργασίας αυτής αναφέρομαι στον προσδιορισμό των διαφόρων παραμέτρων της τραχύτητας μιας τεχνικής επιφάνειας αναλύοντας λεπτομερώς τα περί τραχύτητας τεχνικών επιφανειών. Ακολούθως αναφέρομαι στο πειραματικό μέρος το οποίο περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του πιθανού σφάλματος ενός οργάνου μέτρησης ακρίβειας ενός μικρού (μ) δημιουργώντας το διάγραμμα συχνότητας τιμών της μέτρησης (διάγραμμα Gauss) προκειμένου να διαπιστώσω την πιθανότητα εύρεσης τιμών της διάστασης μεταξύ δύο ορίων πρότυπου μήκους Φ35,900.

Εισαγωγή

Ο όρος της μέτρησης είναι πρωταρχικός στον τομέα της βιομηχανίας. Προσδιορίζει τις διαστάσεις ενός τεμαχίου, χρήσιμο για την ολοκλήρωση μιας συναρμολόγησης ή μίας εξολοκλήρου κατασκευής, όπως επίσης και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του τεμαχίου. Πολύ σημαντικό στην αγορά ενός βιομηχανικού προϊόντος είναι η αξιοπιστία των διαστάσεων που αναγράφονται πάνω στο τεμάχιο. Για τον λόγο αυτό είναι χρήσιμο, στην πώληση κάθε εξαρτήματος ή οργάνου να παρευρίσκεται ένα εγχειρίδιου που το χρησιμοποιούν οι τεχνικοί κατασκευής βιομηχανικών προϊόντων, ώστε να ανταποκρίνονται οι διαστάσεις στις απαιτήσεις των καταναλωτών σε ολόκληρο τον κόσμο.

Παλαιοτέρα υπήρχαν αρκετά προβλήματα μεταξύ των χωρών από την αυθαίρετη διαστασιολόγηση της κάθε χώρας. Με την πρόοδο της μοντέρνας παραγωγής στην βιομηχανία προέκυψε η ανάγκη για την τυποποίηση της έννοιας μέτρησης μήκους και των μονάδων της, όπως επίσης και στων υπόλοιπων έξι πρότυπων μονάδων μέτρησης. Με τον όρο μετρολογία απασχολείται ο μετρολόγος μηχανικός, με σκοπό την δημιουργία και διατήρηση της υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας των οργάνων μέτρησης. Η ενασχόληση αυτή απαιτεί γνώσεις τόσο της μετρολογίας όσο και των κύριων χαρακτηριστικών των υλικών.

Η συνεχής πρόοδος της τεχνολογίας ζητά μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια από τα όργανα μέτρησης. Δίχως την βελτίωση του ήδη υπάρχοντος τυπολόγιου και της τεχνολογίας κατασκευής των οργάνων δε μπορούσε να υπάρξει ανάπτυξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

1.1. Γενικά περί μετρήσεων

Όλη η πτυχιακή εργασία δεν θα είχε κανένα νόημα εάν δεν οριστεί η έννοια **μέτρηση**. Τι σημαίνει δηλαδή μέτρηση αλλά βέβαια και ποια η σημασία της.

Ο όρος μέτρηση μπορεί να σημαίνει είτε απαρίθμηση με τη χρήση φυσικών αριθμών είτε σύγκριση της ποσότητας κάποιου φυσικού μεγέθους με ένα πρότυπο, δηλαδή σύγκριση με κάποια σταθερή ποσότητα του ίδιου φυσικού μεγέθους που αυθαίρετα έχει συμφωνηθεί να χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης. Ένα απλό παράδειγμα και γνωστό σε όλους, εκείνο της βαρύτητας που μελέτησε ο Ισαάκ Νεύτων. Ο νόμος για την βαρύτητα διατυπώνεται ως εξής: **Κάθε σώμα στο σύμπαν έλκει κάθε άλλο σώμα με δύναμη ανάλογη του γινομένου των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης του κέντρου μάζας τους.** Επομένως, στο συγκεκριμένο πείραμα όπου αφήνεται ένα μήλο να πέσει στο έδαφος αφού έχει οριστεί ένα συγκεκριμένο ύψος, θα πρέπει να προβληματίσει οποιονδήποτε, με ποιες ποσότητες το πείραμα θα θεωρείται ολοκληρωμένο. Κάποιος θα απαντούσε ότι ο χρόνος είναι απαραίτητη ποσότητα ενώ ταυτόχρονα κάποιος άλλος θα έκρινε ότι ο ρόλος του ύψους είναι σημαντικός. Σύμφωνα με την εξίσωση $F=G\frac{m1+m2}{r^2}$, εύκολα κάποιος θα πρόσθετε και την μάζα στις ποσότητες που πρέπει να μετρηθούν. Αφού έχει απαντηθεί το ερώτημα «Τι πρέπει να μετρήσουμε;», η επόμενη διαδικασία είναι να αναλογιστεί το ερώτημα «πώς θα το μετρήσουμε;».

Όπως αναφέρθηκε στον ορισμό, γίνεται σύγκριση ενός μεγέθους με ένα άλλο. Στον προσδιορισμό του ύψους, θα μπορούσε να λάμβανε χώρα σαν μέτρο σύγκρισης η χρήση ενός ξύλου και να οριζόταν ότι το ύψος είναι πολλαπλάσιες φορές το μήκος του ξύλου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα έπρεπε να εξεταζόταν δύο θέματα που προκύπτουν. Αρχικά, πώς θα αντιμετωπιζόταν το πρόβλημα για ένα αρκετά αξιοσέβαστο ύψος, για παράδειγμα, έναν ουρανοξύστη. Στον ουρανοξύστη θα χρειαζόταν να συγκριθεί με ένα αρκετά μεγάλο ξύλο ειδάλλως θα ήταν αρκετά δύσκολο να διεξαχθεί το πείραμα και στο δέντρο θα χρειαζόταν ένα κατά πολύ μικρότερο ξύλο. Επίσης, είναι αναγκαίο το μέτρο αναφοράς που επιλέγεται να μην μεταβάλλεται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, πίεση, υγρασία κτλ. Οι εναλλαγές της θερμοκρασίας θα είχαν επίδραση στο μέγεθος του ξύλου. Η συστολή ή η διαστολή του, ίσως να είναι μικρή αλλά υπολογίσιμη, εάν έρθει κανείς αντιμέτωπος με την μέτρηση της ακτίνα ενός ατόμου. Μία βασική παράμετρος που είναι η ακρίβεια της μέτρησης.

Σε κάθε μέτρηση μεγεθών αξιολογούνται δύο βασικά στοιχεία, η **ποσότητα** και η **ποιότητα**. Η ποσότητα αναφέρεται στο πόσο μικρό είναι το αντικείμενο μέτρησης και η ποιότητα αναφέρεται στο χαρακτήρα του μεγέθους που μετράται, δηλαδή στην μονάδα. Σε συνδυασμό αυτών των δύο, επικαλούνται οι πληροφορίες των χαρακτηριστικών του μεγέθους. Εάν υποθετικά, το μήλο ζύγιζε 10 gr, αυτό θα δήλωνε ότι, το δέκα χαρακτηρίζει την ποσότητα και το gr χαρακτηρίζει την ποιότητα. Με απλά λόγια, σημαίνει ότι εάν συγκριθεί το μήλο με την μονάδα του γραμμαρίου είναι 10 φορές βαρύτερο.

1.1.1. Η σημασία των μετρήσεων

Οι τεχνικές μέτρησης έχουν τεράστια σημασία, από την έναρξη του ανθρώπινου πολιτισμού, από τότε που απαραίτητα έπρεπε να ρυθμίζεται η κατανομή των αγαθών στο αντισταθμιστικό εμπόριο, να διασφαλίζεται ότι οι ανταλλαγές ήταν δίκαιες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια σειρά πρότυπων μονάδων. Όμως δεν ήταν εύκολο μια και μπορεί να περιέχει σφάλμα. Έτσι με την βοήθεια της τεχνολογίας κατασκευάστηκαν μετρητικές συσκευές, οι οποίες ανέλαβαν την μέτρηση των διαφόρων μεγεθών.

Κάθε μέρα λαμβάνονται μετρήσεις. Εξετάζουμε τις κοινές μετρήσεις που διευκρινίζονται στο σχήμα 1.1.. Γίνεται ανάγνωση συνήθως της θερμοκρασίας ενός υπαίθρου θερμομέτρου για να επιλεγεί η κατάλληλη ενδυμασία. Μετρώνται πόσα λίτρα καύσιμο χρειάζονται να προστεθούν στην δεξαμενή του αμαξιού. Για την επιτυχή απόδοση ενός μάγειρα, επιβάλλεται η σωστή δοσολογία στις συνταγές μαγειρικής, μετράει. Απαιτείται λίγη σκέψη για αυτές τις στερεότυπες μετρήσεις. Σε τελευταία ανάλυση, η άμεση χρήση των στοιχείων είναι σαφής, ο τύπος οργάνων και οι τεχνικές είναι γνωστά και τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων δεν είναι αρκετά σημαντικά, ώστε να αξίζει ιδιαίτερη προσοχή σε χαρακτηριστικά, όπως βελτιωμένη ακρίβεια ή εναλλακτικών μεθόδων.

Στην περίπτωση των βιομηχανιών οι μετρήσεις κατέχουν σημαντικό ρόλο μια και αυτός ο κλάδος είναι αρκετά ευαίσθητος και δεν έχει περιθώρια για λάθη. Για παράδειγμα, σε ένα πυρηνικό εργοστάσιο ή σε ένα αεροπλάνο τα όργανα μετρήσεων είναι η αρχή και το τέλος για την αποφυγή ατυχημάτων και την ομαλή λειτουργία των μηχανισμών τους. Τυχόν λάθη στην ακρίβεια των οργάνων θα είχε δυσάρεστα αποτελέσματα. Απλά εξετάζονται πώς είναι δυνατή η επιβεβαίωση ότι μια νέα μηχανή έχει κατασκευαστεί όπως σχεδιάστηκε και αποδίδει στο μέγιστο όπως απαιτείται με την μέγιστη δύναμη.

Ο στόχος σε οποιαδήποτε μέτρηση είναι να απαντηθεί μία ερώτηση. Οι μετρήσεις γίνονται για να καθορίσουμε την τιμή κάποιας μεταβλητής, τα αποτελέσματα της οποίας στοχεύουν να απαντήσουν στην ερώτησή μας. Οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται είναι με βάση την έξοδο της

μετρητικής συσκευής ή του συστήματος. Υπάρχουν σημαντικά θέματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να εξασφαλιστεί ότι το αποτέλεσμα της συσκευής είναι μία αξιόπιστη ένδειξη της πραγματικής τιμής της μετρούμενης μεταβλητής. Επιπλέον, πρέπει να εξεταστούν οι ακόλουθες σημαντικές ερωτήσεις:

1. Πώς μπορεί μια μέτρηση ή ένα σχέδιο δοκιμής να επινοηθεί έτσι ώστε η μέτρηση να παρέχει τις σαφείς πληροφορίες που επιδιώκονται;
2. Πώς μπορεί ένα σύστημα μέτρησης να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε ο μηχανικός, να μπορεί να ερμηνεύσει εύκολα τα μετρούμενα δεδομένα και να είναι σίγουρος για την αξιοπιστία τους;

Υπάρχουν διαδικασίες που εξετάζουν αυτές τις ερωτήσεις. Ο καθορισμός ενός συστήματος μέτρησης και της διαδικασίας μέτρησης αντιπροσωπεύουν ένα ανοιχτό πρόβλημα σχεδιασμού του οποίου το αποτέλεσμα δεν θα έχει μια συγκεκριμένη λύση.

Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να υπάρξουν διάφορες προσεγγίσεις στην επίλυση ενός προβλήματος μέτρησης, και μερικές θα είναι καλύτερες από άλλες. Αυτό το κείμενο υπογραμμίζει τις αποδεκτές διαδικασίες για ένα πρόβλημα μέτρησης ώστε να βοηθήσει στην επιλογή του εξοπλισμού, της μεθοδολογίας και ανάλυσης στοιχείων για να επιτευχθούν οι κατασκευαστικοί στόχοι. Ίσως περισσότερο από ό,τι σε οποιοδήποτε άλλο τεχνικό τομέα, η προσέγγιση που ακολουθείται στο σχεδιασμό των μετρήσεων και την επίτευξη των αποτελεσμάτων θα εξαρτώνται συχνά από την προσοχή και την εμπειρία του σχεδιαστή.

Figure 1.1 Common devices that involve measurements.

1.1.2. Πειραματικό σχέδιο δοκιμής

Μία πειραματική δοκιμή χρησιμεύει για να απαντηθεί μία ερώτηση, οπότε η δοκιμή (test) θα πρέπει να σχεδιαστεί και να εκτελεστεί για να απαντηθεί αυτό το ερώτημα και μόνο. Όμως δεν είναι τόσο εύκολο να γίνει. Μπορεί να γίνει κατανοητό χρησιμοποιώντας το παρακάτω παράδειγμα.

Σύνηθες ερώτημα για έναν οδηγό είναι ‘’Ποιά είναι η κατανάλωση καυσίμων του καινούριου μου αυτοκινήτου; ’’, η οποία χρίζει απάντηση μέσω του σχεδιασμού μιας δοκιμής.

Ποιό θα μπορούσε να είναι το πλάνο της δοκιμής; Σε ένα πλάνο δοκιμών μπορούν να προσδιοριστούν οι μεταβλητές που θα μετρηθούν, αλλά επίσης υπάρχει και η δυνατότητα παρατήρησης άλλων μεταβλητών που θα επηρεάσουν το αποτέλεσμα. Δύο σημαντικές μεταβλητές μέτρησης είναι η απόσταση και ο όγκος κατανάλωσης καυσίμου. Προφανώς, η ακρίβεια του χιλιομετρητή, θα έχει επιπτώσεις στη μέτρηση απόστασης, όπως επίσης και ο τρόπος γεμίσματος της δεξαμενής του αυτοκινήτου, έχει επίπτωση στην εκτίμηση για τον όγκο καυσίμου.

Αλλά ποιες άλλες μεταβλητές πιθανών επηρεάσουν τα αποτελέσματα;
Εάν η ερώτηση είναι να υπολογιστεί η μέση χρήση καυσίμων όσο αναμένεται κατά τη διάρκεια της ιδιοκτησίας, η διαδρομή που θα επιλεχτεί κατέχει μεγάλο ρόλο στα αποτελέσματα. Μόνο η οδήγηση εθνικών οδών θα επιβάλει μια διαφορετική τάση στα αποτελέσματα, από την περίπτωση οδήγησης μόνο στην πόλη, έτσι αν εκτελούνται και τα δύο, θα ήταν χρήσιμο να οριστεί μία τυχαία διαδρομή με την βοήθεια των διάφορων τύπων συνθηκών οδήγησης. Εάν περισσότεροι από ένας οδηγοί χρησιμοποιούν το αυτοκίνητο, κατόπιν ο οδηγός γίνεται μία μεταβλητή επειδή κάθε άτομο, οδηγεί διαφορετικά. Σίγουρα οι καιρικές συνθήκες του καθενός επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Παρατηρείται ότι τελικά η χρησιμότητα των μετρημένων στοιχείων έρχεται σε αντίθεση με τις αρχικές μεταβλητές που είχαν οριστεί.

Επίσης πρέπει να εξεταστεί πόσο χρήσιμη είναι η απάντηση και με ποια μορφή πρέπει να δοθεί: 2 λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα ή 1 μίλι ανά γαλόνια είναι αρκετά; Εάν όχι, τότε στο test μπορεί να απαιτηθούν αυστηρότεροι έλεγχοι. Τέλος, ως ένα ακόμη βήμα για έλεγχο, να συγκριθεί η απάντηση με τις πληροφορίες που παρέχονται από τον κατασκευαστή ή της ανεξάρτητης υπηρεσίας για να βεβαιωθεί ότι η απάντηση φαίνεται λογική. Το ενδιαφέρον είναι ότι, αυτό το παράδειγμα περιέχει όλα τα στοιχεία οποιουδήποτε περίπλοκου ελέγχου.

Το πειραματικό σχέδιο περιλαμβάνεται στην ανάπτυξη ενός *σχεδίου δοκιμής μέτρησης*. Ένα σχέδιο δοκιμής απαρτίζεται από τα ακόλουθα τρία βήματα:

1. ***Πλάνο σχεδιασμού παραμέτρων***. Τον καθορισμό δηλαδή του στόχου και τον προσδιορισμό των μεταβλητών και των παραμέτρων της διαδικασίας και ένα μέσο για την άσκηση του

ελέγχου. Ερώτηση: «Ποια ερώτηση πρέπει να απαντηθεί; «Τι χρειάζεται να μετρηθεί;» «Ποιες μεταβλητές και παράμετροι έχουν επιπτώσεις στα αποτελέσματα;»

2. ***Πλάνο σχεδιασμού συστημάτων και ανοχής***. Επιλέγεται μία τεχνική μέτρησης, εξοπλισμός και η διαδικασία δοκιμής βασισμένη σε μερικά προδικασμένα όρια ανοχής για λάθος. Ερώτηση: « Με ποιους τρόπους μπορεί να ληφθεί η μέτρηση και πόσο καλά θα πρέπει να είναι το αποτέλεσμα για να απαντηθεί η ερώτηση;»
3. ***Πρόγραμμα σχεδιασμού δεδομένων***. Σχέδιο για το πώς να αναλύσει, παρουσιάσει και να χρησιμοποιήσει τα προβλεπόμενα στοιχεία. Ερώτηση: «Πώς να ερμηνευτούν τα προκύπτοντα στοιχεία; Πώς θα αξιοποιηθούν ώστε να απαντηθεί η ερώτηση; Πόσο σωστή είναι η απάντηση; Η απάντηση έχει νόημα;».

Το να περνάει και από τα τρία βήματα του πλάνου δοκιμής προτού ληφθεί οποιαδήποτε μέτρηση είναι μία χρήσιμη συνήθεια για έναν επιτυχή μηχανικό. Συχνά, το βήμα 3 αναγκάζει την επανεξέταση των βημάτων 1 και 2.

1.1.3. Στοιχεία ενός σχεδίου δοκιμής

Μεταβλητές

Μόλις οριστεί η ερώτηση που χρήζει απάντηση από το test, το επόμενο βήμα είναι να προσδιοριστούν οι σχετικές παράμετροι και οι μεταβλητές. Οι μεταβλητές είναι οντότητες που επηρεάζουν την δοκιμή (test). Εκτός από τη στοχευόμενη μετρηθείσα μεταβλητή, μπορεί να υπάρξουν άλλες συναφείς μεταβλητές στη διαδικασία που έχουν επιπτώσεις στην έκβαση του αποτελέσματος. Όλες οι γνωστές μεταβλητές της διαδικασίας πρέπει να αξιολογηθούν για οποιαδήποτε πιθανή σχέση αιτίας και αποτελέσματος. Αν μία αλλαγή σε μία μεταβλητή δεν επηρεάσει την τιμή κάποιων άλλων μεταβλητών τότε θεωρούνται ανεξάρτητες η μία από την άλλη. Δηλαδή μία μεταβλητή μπορεί να αλλάξει ανεξάρτητα από άλλες μεταβλητές είναι γνωστή ως ***ανεξάρτητη μεταβλητή***. Μία μεταβλητή που επηρεάζεται από μία ή περισσότερες άλλες μεταβλητές είναι γνωστή ως ***εξαρτημένη μεταβλητή.***

Κανονικά, η μεταβλητή που μετριέται εξαρτάται από την τιμή των μεταβλητών που ελέγχουν την διαδικασία. Μία μεταβλητή, μπορεί να είναι συνεχής, όπως η πίεση κάτω από ένα μεταβαλλόμενο φορτίο ή η θερμοκρασία σε ένα δοκίμιο. Επίσης μπορεί να είναι ιδιαίτερη, δεδομένου ότι παίρνει συγκεκριμένες τιμές ή μπορεί να είναι ποσοτικές με έναν ιδιαίτερο τρόπο, όπως μια δοκιμαστική διαδρομή από έναν μοναδιαίο χειριστή. Ο έλεγχος των μεταβλητών είναι

σημαντικός. Μία μεταβλητή ελέγχεται κατά την διάρκεια μιας μέτρησης εάν μπορεί να διεξαχθεί σε σταθερή τιμή ή σε κάποια προβλεπόμενη κατάσταση.

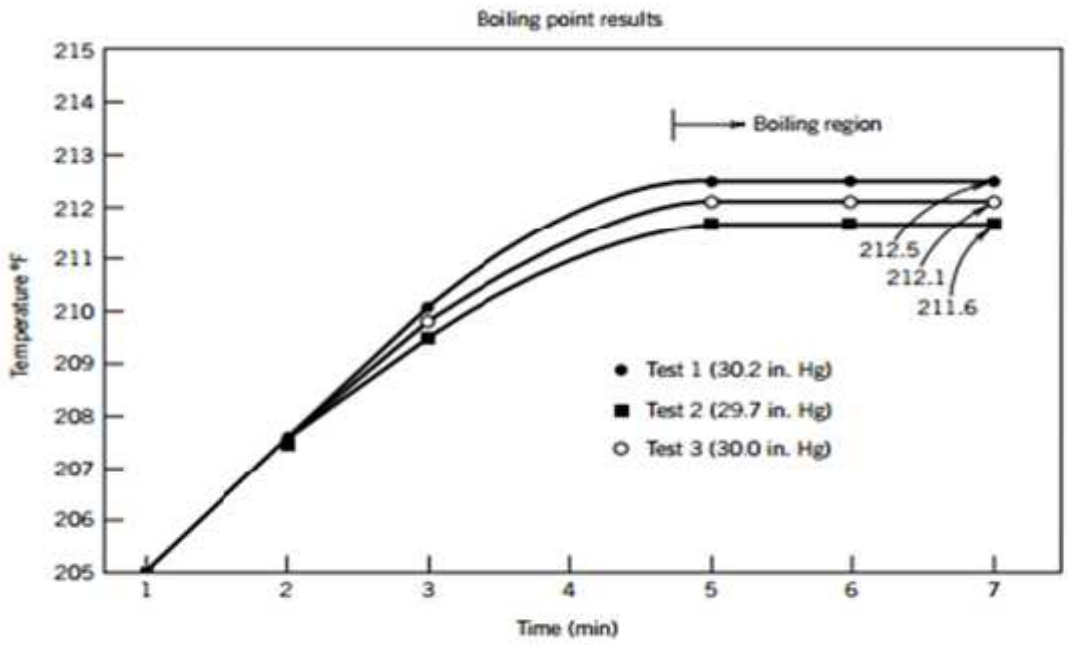
Η σχέση αιτίας και αποτελέσματος μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτώμενης μεταβλητής βρίσκεται από τον έλεγχο των τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών μετρώντας την εξαρτώμενη μεταβλητή. Οι μεταβλητές που δεν μπορούν να ελεγχθούν κατά την διάρκεια της μέτρησης αλλά που έχουν επιπτώσεις στο αποτέλεσμα του μεταβλητού που μετριέται καλούνται ***ξένες μεταβλητές***. Η επιρροή τους μπορεί να μπερδεύει τη σαφή σχέση μεταξύ της αιτίας και αποτελέσματος σε μια μέτρηση.

Ο τρόπος οδήγησης θα έχει επιπτώσεις στην κατανάλωση καυσίμων ενός αυτοκινήτου. Τότε, αν δεν ελέγχεται η επιρροή αυτή, θα έχει επιπτώσεις στο αποτέλεσμα. Εξωγενείς μεταβλητές μπορούν να εμφανίσουν διαφορές σε επανειλημμένες μετρήσεις της ίδιας μετρηθείσας μεταβλητής που λαμβάνεται υπό φαινομενικά πανομοιότυπες συνθήκες λειτουργίας. Μπορούν επίσης, να επιβάλλουν μια ψεύτικη τάση επάνω στη συμπεριφορά εκείνης της μεταβλητής. Οι επιδράσεις που οφείλονται σε εξωγενείς μεταβλητές μπορούν να λάβουν τη μορφή σημάτων θορύβου ή ταλαντώσεων.

Παράδειγμα

Θεωρώντας ένα πείραμα θερμοδυναμικής για την καθιέρωση του σημείου βρασμού του νερού. Οι συσκευές μέτρησης για το σημείο βρασμού μπορεί να παράγουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο παρακάτω (σχήμα1.2), για τις τρεις δοκιμαστικές εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν σε ξεχωριστές ημέρες.

Παρατηρώντας τη διαφορετική έκβαση για κάθε δοκιμή, το διάγραμμα δίνει διαφορετικά αποτελέσματα για την κάθε μέρα, με την υπόθεση ότι η ακρίβεια συστημάτων μέτρησης αποτελεί μόνο 0.1 ^{o}F της διασποράς των στοιχείων δοκιμής. Επομένως ένας άλλος παράγοντας συν μια ξένη μεταβλητή συνέβαλλε στο τελικό αποτέλεσμα. Με μία προσεκτικότερη εξέταση στα στοιχεία δοκιμής, παρουσιάζεται μια μικρή παραλλαγή στη βαρομετρική πίεση, η οποία θα είχε επιπτώσεις στο να αυξηθεί η θερμοκρασία. Η παραλλαγή πίεσης είναι σύμφωνη με την τάση που βλέπει στα στοιχεία σημείου βρασμού. Διότι η βαρομετρική πίεση δεν ελέγχθηκε, η πίεση ενέργησε ως ξένη μεταβλητή προσθέτοντας στις διάφορες εκβάσεις μεταξύ των δοκιμαστικών λειτουργιών.



Σχήμα 1.2: Results of a boiling point test for water

Παράμετροι

Καθορίζεται μία παράμετρος ως λειτουργική ομαδοποίηση των μεταβλητών. Για παράδειγμα, μια στιγμή αδράνειας ή ένας αριθμός Reynolds καθορίζεται από τις τιμές μιας ομαδοποίησης μεταβλητών. Μια παράμετρος που έχει επίδραση στη συμπεριφορά της μετρημένης μεταβλητής, ονομάζεται *παράμετρος ελέγχου.*

Διαθέσιμοι μέθοδοι για τον προσδιορισμό των παραμέτρων ελέγχου, βασίζονται σε γνωστές μεταβλητές διαδικασίες που περιλαμβάνουν την ομοιότητα, στις τεχνικές ανάλυσης διαστάσεων και στους νόμους φυσικής. Μία παράμετρος ελέγχεται για το αν μπορεί η τιμή της να διατηρηθεί κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Για παράδειγμα, τον ρυθμό ροής Q, που αναπτύχθηκε από έναν ανεμιστήρα εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής n και από την διάμετρο d του ανεμιστήρα. Μία παράμετρος ελέγχου για αυτή την ομάδα των τριών μεταβλητών, ο συντελεστής ροής του ανεμιστήρα είναι $C_1 = nd^3$.

Για έναν συγκεκριμένο ανεμιστήρα, λοιπόν, όπου το d είναι σταθερό (επομένως ελεγχόμενο) και εάν ελεγχόταν με κάποιο τρόπο η ταχύτητα, τότε θα μπορούσαμε να συνδέσουμε τον ρυθμό ροής με ό,τι μπορεί να μετρήσει την ταχύτητα και να προσδιορίσουμε τον συντελεστή τριβής του.

Θόρυβος και παρέμβαση

Πώς ακριβώς οι εξωγενείς μεταβλητές που επηρεάζουν τα μετρήσιμα δεδομένα, μπορούν να οριοθετηθούν σε θόρυβο και παρεμβολές; Ο θόρυβος είναι μια τυχαία παραλλαγή της αξίας του

μετρημένου σήματος, συνέπεια της παραλλαγής των ξένων μεταβλητών. Ο θόρυβος αυξάνει τα στοιχεία σκέδασης. Οι παρεμβολές επιβάλλουν ανεπιθύμητες ντετερμινιστικές τάσεις στη μετρούμενη τιμή. Οποιαδήποτε ανεξέλεγκτη επιρροή που αναγκάζει την παραποίηση των αποτελεσμάτων από την πραγματική τιμή λέγεται ***παρέμβαση***.

Μια συχνή παρέμβαση στα ηλεκτρονικά όργανα προέρχεται από την πηγή ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος και θεωρείται ως ένα ημιτονοειδές κύμα που επικαλύπτει την διαδρομή σήματος που μετράται. Το βουητό και η ακουστική ανατροφοδότηση στα καλώδια και τα συστήματα ήχου αποτελούν παραδείγματα των επιπτώσεων από τις παραβάσεις που επικαλύπτουν ένα επιθυμητό σήμα. Εάν η περίοδος της παρέμβασης είναι μεγαλύτερη από την περίοδο που γίνεται η μέτρηση, η ψεύτικη τάση μπορεί να περάσει απαρατήρητη. Για αυτό θα πρέπει να ελέγχεται ή η πηγή παρέμβασης ή να υπάρξει διακοπή της τάσης.

1.2. Μετρικό σύστημα

1.2.1. Η ιστορία των μονάδων μέτρησης

Αρχικά, οι μονάδες μέτρησης ήταν εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν σε αντισταθμιστικό εμπόριο για να αναφέρει επακριβώς το ποσό που ανταλλάσσονταν και να θεσπίσουν σαφείς κανόνες σχετικά με τις τιμές διαφόρων αγαθών. Τέτοια συστήματα μέτρησης βασίστηκαν σε ό,τι ήταν διαθέσιμο ως μονάδα μέτρησης. Για τους σκοπούς της μέτρησης του μήκους, του ανθρώπινου κορμού ήταν ένα εργαλείο που έδωσε μονάδες την παλάμη, τα πόδια κ.α.. Αν και είναι αρκετά επαρκής για συστήματα αντισταθμιστικού εμπορίου, τέτοιες μονάδες μέτρησης είναι βέβαια ασαφής, ποικίλλουν από το ένα άτομο στο άλλο. Ως εκ τούτου, έχει υπάρξει μια προοδευτική μετακίνηση προς τις μονάδες μέτρησης που ορίζουν πολύ περισσότερο την ακρίβεια.

Η πρώτη βελτιωμένη μονάδα μέτρησης ήταν μια μονάδα του μήκους (το μέτρο).Ο ορισμός του μέτρου έγινε στη Γαλλία το 1791 από την Ακαδημία των Επιστημών (Académie des sciences), η οποία όρισε ως μονάδα μέτρησης μήκους το <<γαλλικό μέτρο>> ως ίσο με ένα προς δέκα εκατομμύρια φορές την απόσταση από τον Ισημερινό έως τον Βόρειο Πόλο, του μεσημβρινού της Γης που διασχίζει το Παρίσι. Το όνομα της νέας μονάδας ήταν Mètre από την ελληνική λέξη *Μέτρον*. Υιοθετήθηκε από τη Γαλλική Κυβέρνηση το 1795 και έκτοτε έχει εξαπλωθεί σχεδόν σε όλες τις χώρες του κόσμου. Οι αγγλοσάξονες διατηρούν τα δικά τους μέτρα και σταθμά.

Το 1875 είκοσι χώρες υπέγραψαν τη ***Συνθήκη του Μέτρου*** (Convention du Mètre) και καθιερώθηκε το μέτρο του 1791 ως πρωτότυπο του μέτρου. Το αποτέλεσμα της Συνθήκης ήταν η δημιουργία του **Διεθνούς Γραφείου Μέτρων και Σταθμών** (Bureau International des Poids et Mesures), με έδρα τη γαλλική πόλη Sèvres, το οποίο θα διατηρούσε τις νέες μονάδες, καθώς εκτός

από το μέτρο, ορίστηκε και το κιλό ως μονάδα βάρους και είχε την ευθύνη της διατύπωσης των σχέσεων των άλλων μονάδων με αυτές.

Μία ράβδος από πλατίνα, σε αυτό το μήκος που δημιουργήθηκε στις αρχές του 19αι, αντικαταστάθηκε από μία ανώτερη ποιότητα πρότυπης ράβδου το **1889**, κατασκευασμένο από ένα κράμα platinum-iridium. Από τότε η τεχνολογική έρευνα επέτρεψε να γίνουν περαιτέρω βελτιώσεις στο πρωτότυπο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του μήκους.

Το **1893** το πρωτότυπο μέτρο μετρήθηκε πάλι με ιντερφερόμετρο (μέτρηση του μήκους των οπτικών κυμάτων που προέρχονται από διαφορετική πηγή) και βρέθηκε πως είναι 1.553.164,13 φορές το μήκος κύματος της κόκκινης γραμμής του φάσματος του καδμίου στον αέρα, στα 760mm ατμοσφαιρικής πίεσης και στους 15 βαθμούς Κελσίου.

Ο ορισμός του μέτρου άλλαξε το **1960**. Στις 14 Οκτωβρίου, ορίστηκε εκ νέου από την 11^{η} Γενική Συνέλευση Μέτρων και Σταθμών (Conférence Générale des Poids et Mesures) ως ίσο με 1.650.763,73 φορές το μήκος κύματος της πορτοκαλοκόκκινης γραμμής του φάσματος του στοιχείου του Kr^{86} στο κενό.

Ο πιο πρόσφατος ορισμός του μέτρου διατυπώθηκε το **1983**, από την 17^{η} ΓΣΜΣ, ως το μήκος που διανύει το φως στο κενό σε χρόνο 1/299.792.458 του δευτερολέπτου ακριβώς και αυτός ο ορισμός ισχύει μέχρι σήμερα.

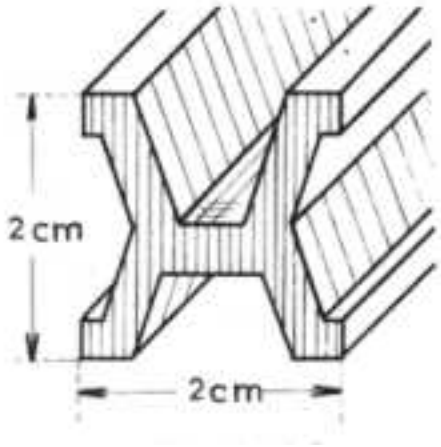
Με παρόμοιο τρόπο, τυποποιημένες μονάδες για την μέτρηση των άλλων φυσικών ποσοτήτων έχουν οριστεί και βελτιωθεί σταδιακά με τα χρόνια. Τα πιο σύγχρονα πρότυπα για την οριστικοποίηση των μονάδων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση σε ένα φάσμα φυσικών μεταβλητών δίνονται στον πίνακα 1.1.

Η αρχική καθιέρωση προτύπων για τη μέτρηση των φυσικών ποσοτήτων επεκτάθηκε σε αρκετές χώρες, παράλληλες περιόδους, σε γενικές γραμμές και κατά συνέπεια, τα διάφορα σύνολα των μονάδων προέκυψαν για τη μέτρηση της ίδιας φυσικής μεταβλητής. Για παράδειγμα, το μήκος μπορεί να μετρηθεί με το μέτρο, yards ή σε άλλες μονάδες. Εκτός από τις σημαντικότερες μονάδες του μήκους, υποδιαιρέσεις των πρότυπων μονάδων που υπάρχουν όπως πόδια, ίντσες, εκατοστά και χιλιοστά με σταθερή σχέση μεταξύ κάθε θεμελιώδη μονάδας και των υποδιαιρέσεων.

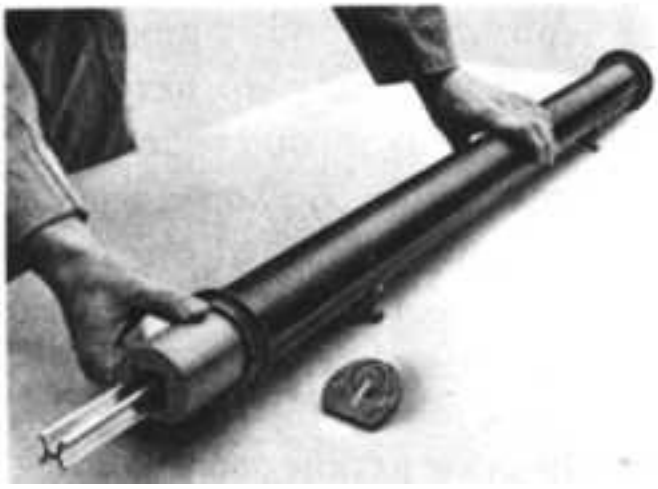
Το σημερινό σύστημα μονάδων είναι καθιερωμένο από το 1975

Τα ιδρύματα που λειτουργούν ακόμη και σήμερα είναι

- Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών (BIPM).
- Γενική Συνδιάσκεψη Μέτρων και Σταθμών (CGPM).
- Διεθνής Επιτροπή Μέτρων και Σταθμών (CIPM).



Εικόνα 1.1.: Μορφή πρότυπου μέτρου



Εικόνα 1.2.: Εντός θήκης

1.2.2. Μετρολογικό σύστημα της Ελλάδος

Το μετρολογικό σύστημα της Ελλάδος αποτυπώνεται σε τρία βαθμιδωτά στάδια.

- Στο πρώτο επίπεδο τοποθετούνται όλοι όσοι χρησιμοποιούν τα όργανα μέτρησης στον εμπορικό, βιομηχανικό ή εργαστηριακό τομέα και γενικότερα.
- Στο επόμενο στάδιο βρίσκονται τα εργαστήρια διακρίβωσης των μετρητικών οργάνων. Εκεί διακριβώνονται τα πρότυπα εργασίας από τα πρότυπα αναφοράς που διαθέτουν. Τα πρότυπα εργασίας είναι απαραίτητα για την διακρίβωση των μετρητικών οργάνων.
- Τέλος, είναι το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (ΕΙΜ), το οποίο τηρώντας τα εθνικά πρότυπα μέτρησης, αναπτύσσει την επιστημονική μετρολογία.

1.2.3. Μονάδες μέτρησης

Μετρικό σύστημα

Στο μετρητικό σύστημα μονάδων ανήκουν τα μεγέθη πόδια (feet), γιάρδες (yards) και οι ίντσες (inches), το οποίο αποτελείται από υποδιαιρέσεις και περίπλοκους παράγοντες μετατροπής του ενός μεγέθους σε ένα άλλο. Στην γαλλική επανάσταση καθιερώθηκε ένα εναλλακτικό σύστημα μονάδων, πιο εύχρηστο εξαιτίας του ότι τα πολλαπλάσια και οι υποδιαιρέσεις των βασικών μετρικών μονάδων σχετίζονται με την βάση και με τον παράγοντα του δέκα.

Στον πίνακα 1.1 ορίζονται οι έννοιες των βασικών μεγεθών και στον πίνακα 1.2 βλέπουμε για την κάθε επιθυμητή ποσότητα, τον συμβολισμό της.

Table 1.1 Definitions of standard units

Physical quantity	*Standard unit*	*Definition*
Length	metre	The length of path travelled by light in an interval of 1/299 792 458 seconds
Mass	kilogram	The mass of a platinum–iridium cylinder kept in the International Bureau of Weights and Measures, Sèvres, Paris
Time	second	9.192631770×10^9 cycles of radiation from vaporized caesium-133 (an accuracy of 1 in 10^{12} or 1 second in 36 000 years)
Temperature	kelvin	The temperature difference between absolute zero and the triple point of water is defined as 273.16 kelvin
Current	ampere	One ampere is the current flowing through two infinitely long parallel conductors of negligible cross-section placed 1 metre apart in a vacuum and producing a force of 2×10^{-7} newtons per metre length of conductor
Luminous intensity	candela	One candela is the luminous intensity in a given direction from a source emitting monochromatic radiation at a frequency of 540 terahertz (Hz $\times 10^{12}$) and with a radiant density in that direction of 1.4641 mW/steradian. (1 steradian is the solid angle which, having its vertex at the centre of a sphere, cuts off an area of the sphere surface equal to that of a square with sides of length equal to the sphere radius)
Matter	mole	The number of atoms in a 0.012 kg mass of carbon-12

Quantity	*Standard unit*	*Symbol*	*Derivation formula*
Area	square metre	m^2	
Volume	cubic metre	m^3	
Velocity	metre per second	m/s	
Acceleration	metre per second squared	m/s^2	
Angular velocity	radian per second	rad/s	
Angular acceleration	radian per second squared	rad/s^2	
Density	kilogram per cubic metre	kg/m^3	
Specific volume	cubic metre per kilogram	m^3/kg	
Mass flow rate	kilogram per second	kg/s	
Volume flow rate	cubic metre per second	m^3/s	
Force	newton	N	$kg\ m/s^2$
Pressure	newton per square metre	N/m^2	
Torque	newton metre	N m	
Momentum	kilogram metre per second	kg m/s	
Moment of inertia	kilogram metre squared	$kg\ m^2$	
Kinematic viscosity	square metre per second	m^2/s	
Dynamic viscosity	newton second per square metre	$N\ s/m^2$	
Work, energy, heat	joule	J	Nm
Specific energy	joule per cubic metre	J/m^3	
Power	watt	W	J/s
Thermal conductivity	watt per metre kelvin	W/m K	
Electric charge	coulomb	C	A s
Voltage, e.m.f., pot. diff.	volt	V	W/A
Electric field strength	volt per metre	V/m	
Electric resistance	ohm	Ω	V/A
Electric capacitance	farad	F	A s/V
Electric inductance	henry	H	V s/A
Electric conductance	siemen	S	A/V
Resistivity	ohm metre	Ωm	
Permittivity	farad per metre	F/m	
Permeability	henry per metre	H/m	
Current density	ampere per square metre	A/m^2	
Magnetic flux	weber	Wb	V s
Magnetic flux density	tesla	T	Wb/m^2
Magnetic field strength	ampere per metre	A/m	
Frequency	hertz	Hz	s^{-1}
Luminous flux	lumen	lm	cd sr
Luminance	candela per square metre	cd/m^2	
Illumination	lux	lx	lm/m^2
Molar volume	cubic metre per mole	m^3/mol	
Molarity	mole per kilogram	mol/kg	
Molar energy	joule per mole	J/mol	

1.2.3.1. Προθέματα

Αρκετές φορές χρειάζεται να γράψουμε μία τιμή που είναι αρκετά μικρή ή αντιθέτως. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε τα λεγόμενα προθέματα με σκοπό να αποφύγουμε τα πολλά μηδενικά. Επομένως μπροστά από την μονάδα γράφουμε το πρόθεμα όπως στον παρακάτω πίνακα για να περιγράψουμε μία τιμή και μια υποδιαίρεση ή μία δύναμη του δέκα.

Διεθνές όνομα	Σύμβολο	Ελληνικά	Πολ/στης	Κλίμακα	Παράδειγμα
yotta	Y	γιόττα	10^{24}	επτάκις εκατομμυριάδα	γιοττάμετρο
zetta	Z	ζέττα	10^{21}	εξάκις εκατομμυριάδα	ζεττάμετρο
exa	E	έξα	10^{18}	πεντάκις εκατομμυριάδα	εξάμετρο
peta	P	πέτα	10^{15}	τετράκις εκατομμυριάδα	πετάμετρο
tera	T	τέρα	10^{12}	τρισεκατομμυριάδα	τεράμετρο
giga	G	γίγα	10^{9}	δισεκατομμυριάδα	γιγάμετρο
mega	M	μέγα	10^{6}	εκατομμυριάδα	μεγάμετρο
kilo	k	κίλο	10^{3}	χιλιάδα	χιλιόμετρο
hecto	h	εκατό	10^{2}	εκατοντάδα	εκατόμετρο
deca	da	δέκα	10^{1}	δεκάδα	δεκάμετρο
unit	un	μονό	$10^{0} = 1$	μονάδα	μέτρο
deci	d	δέκατο	10^{-1}	δέκατο	δεκατοστόμετρο
centi	c	εκατοστό	10^{-2}	εκατοστό	εκατοστόμετρο
milli	m	χιλιοστό	10^{-3}	χιλιοστό	χιλιοστόμετρο
micro	μ	μίκρο	10^{-6}	εκατομμυριοστό	μικρόμετρο
nano	n	νάνο	10^{-9}	δισεκατομμυριοστό	νανόμετρο
pico	p	πίκο	10^{-12}	τρισεκατομμυριοστό	πικόμετρο
femto	f	φέμτο	10^{-15}	τετράκις εκατομμυριοστό	φεμτόμετρο (φέρμι)
atto	a	άττο	10^{-18}	πεντάκις εκατομμυριοστό	αττόμετρο
zepto	z	ζέπτο	10^{-21}	εξάκις εκατομμυριοστό	ζεπτόμετρο
yocto	y	γιόκτο	10^{-24}	επτάκις εκατομμυριοστό	γιοκτόμετρο

Πίνακας 1.2: Προθέματα μονάδων.

1.2.3.2. Παράγωγες Μονάδες

Κάποιες μονάδες μέτρησης προκύπτουν από το γινόμενο ή πολλαπλασιασμό κάποιων φυσικών μεγεθών όπως είδαμε παραπάνω. Τέτοιες παράγωγες μονάδες είναι ο όγκος, η επιτάχυνση, η ταχύτητα κλπ.

Φυσικό μέγεθος	**Έκφραση γινομένου ή πηλίκου**	**Παράγωγη μονάδα**	**Ιδιαίτερος συμβολισμός**	**Όνομα της μονάδας**
Επιφάνεια	μήκος^2	m^2	-	Τετραγωνικό μέτρο
Όγκος	μήκος^3	dm^3	L (liter)	Λίτρο, κυβική παλάμη, κυβικό δεκατόμετρο
Ταχύτητα	μήκος/χρόνος	m/s	-	Μέτρο ανά δευτερόλεπτο
Επιτάχυνση	μήκος/χρόνος^2	m/s^2	-	Μέτρο ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο
Δύναμη	μάζα *επιτάχυνση	$kg\times m/s^2$	N (Newton)	Νιούτον
Πίεση-τάση	δύναμη/επιφάνεια	N/m^2	Pa (Pascal)	Πασκάλ
Ροπή	δύναμη* μήκος	N*m	-	Νιούτον επί μέτρο, νιουτόμετρο
Πυκνότητα	μάζα/όγκος	kg/m^3	-	Χιλιόγραμμο ανά κυβικό μέτρο
Ειδικό βάρος	δύναμη/όγκος	N/m^3	-	Νιούτον ανά κυβικό μέτρο
Έργο-ενέργεια	δύναμη* μήκος	N*m	J (Joule)	τζάουλ
Ισχύς	Έργο/χρόνος	J/s	W (Watt)	βατ

Πίνακας 1.3: Παράγωγες μονάδες.

1.2.4. Εφαρμογές μετρικού συστήματος

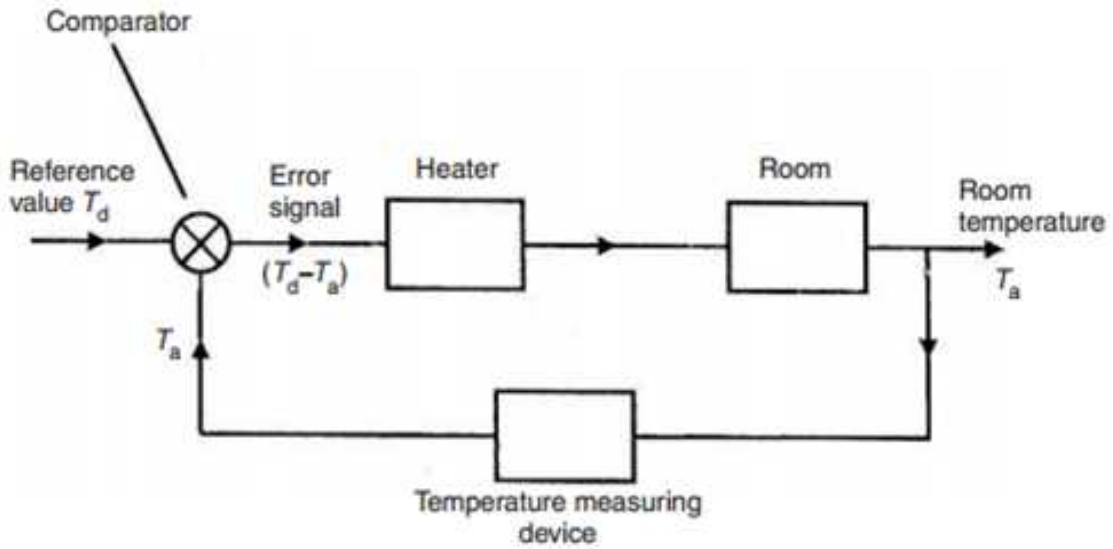
Στον ανθρώπινο πολιτισμό οι μετρήσεις και οι τεχνικές μέτρησης κατέχουν ένα σημαντικό μέρος της καθημερινότητας και της βιοπάλης. Οι τομείς των εφαρμογών μετρικού συστήματος ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες.

Ο πρώτος τομέας είναι το εμπόριο, όπου μετρώντας φυσικά μεγέθη, όπως μάζα, όγκος και μήκος καθορίζεται η τιμή και ποιότητα των αγαθών και των προϊόντων.

Ο δεύτερος τομέας αφορά την παρακολούθηση λειτουργιών πάσης φύσεως. Μία τέτοια περίπτωση μπορεί να είναι ο καθορισμός ντυσίματος μετά την παρατήρηση ενός βαρομέτρου. Ένας μάγειρας χρησιμοποιεί το μαγειρικό θερμόμετρο και ανάλογα αυξάνει ή ελαττώνει την θερμοκρασία του ψησίματος. Με τα όργανα παρακολούθησης οι εφαρμογές είναι άπειρες στην καθημερινότητα

μας ενώ είναι όλο και πιο απαραίτητα στην παρακολούθηση βιομηχανικών δραστηριοτήτων και ενεργειών δίνοντας στον χρήστη την δυνατότητα ελέγχου. Στο εργοστάσιο της ΔΕΗ, η μέτρηση θερμοκρασίας και πίεσης κατά την διάρκεια της παραγωγής ρεύματος είναι ζωτικής σημασίας.

Ο τρίτος και τελευταίος τομέας αφορά την βαθμονόμηση των μέσων αυτόματου ελέγχου, όπως περιγράφεται στο παρακάτω παράδειγμα. Στο σχήμα 1.1 απεικονίζεται το λειτουργικό διάγραμμα ενός συστήματος ελέγχου θερμοκρασίας σε ένα δωμάτιο. Η θερμοκρασία Ta πρέπει να έχει σταθερή τιμή Td. Η τιμή Ta αφού ελεγχθεί από μία συσκευή ελέγχου θερμοκρασίας, συγκρίνεται με την τιμή Td και εάν δεν υπάρξει ισοτιμία θεωρείται σαν σήμα σφάλματος στον θερμαντήρα. Η θερμοκρασία του δωματίου τροποποιείται από τον θερμαντήρα με στόχο Ta=Td. Σαφώς για να έχουμε τα σωστά αποτελέσματα, θα πρέπει τα όργανα μέτρησης να είναι ακριβείας και τα χαρακτηριστικά των οργάνων που χρησιμοποιούνται σε κάθε σύστημα ελέγχου ανάδρασης (feedback) είναι θεμελιώδους σημασίας για την ποιότητα του ελέγχου που έχει επιτευχθεί.



Σχήμα 1.3: Elements of a simple closed-loop control system

1.2.5. Γενικό πρότυπο για ένα σύστημα μετρήσεων

Στο παραπάνω παράδειγμα (σχήμα1.3) αντιλαμβανόμαστε ότι ένα παρόμοιο σύστημα αποτελείται από το σύνολο ή κάποιες φορές μόνο ένα μέρος των τεσσάρων γενικών σταδίων. Τα στάδια είναι τα εξής: 1) Στάδιο αισθητήρας –μετατροπέας, 2) στάδιο ρύθμισης σήματος, 3) στάδιο εξόδου, 4) στάδιο ανατροφοδότησης –ελέγχου. Τα συγκεκριμένα στάδια διαμορφώνουν την διαδικασία εισόδου και εξόδου μιας ποσότητας που χρησιμοποιείται για να καθορίσει την τιμή της μεταβλητής που μετριέται.

Στο στάδιο ρύθμισης σήματος, γίνεται η αναγνώριση σήματος και η μετατροπή του σε ένα κατανοητό και επιθυμητό μέγεθος. Δεν είναι απαραίτητο στάδιο για την μέτρηση, όμως επιτρέπει να

ενισχυθεί η τάξη του σήματος με κατάλληλες τεχνικές φιλτραρίσματος με αποτέλεσμα την καλύτερη διεξαγωγή της μέτρησης όπως επίσης και την δυνατότητα οπτικού και μηχανικού συνδέσμου μεταξύ του σταδίου εξόδου και του μετατροπέα. Παραδείγματος χάριν, στο θερμόμετρο, πόσο θα κινηθεί το υγρό προς τα επάνω εξαρτάται από την μεταβαλλόμενη θερμοκρασία. Υπάρχει ρύθμιση σήματος με ενίσχυση υγρής μετατόπισης.

Το στάδιο της ανατροφοδότησης είναι αρκετά σημαντική αφού ο αισθητήρας ελεγκτής λαμβάνει το σήμα, το επεξεργάζεται και δίνει μία απάντηση εγκυρότητας του αποτελέσματος. Σε περίπτωση που το σήμα έχει υπερβεί το ανώτατο ή κατώτερο καθορισμένο όριο, μία τιμή που προσδιορίζεται από τον χειριστή του συστήματος, οδηγείται στην αρχή της διαδικασίας. Ένα απλό και καθημερινό παράδειγμα είναι ο θερμοστάτης του καλοριφέρ. Ενεργοποιείται όποτε καθορίζεται αναγκαίο από τον αισθητήρα θερμοκρασίας δωματίου.

1.2.6. Χρήσιμοι ορισμοί

Μέτρηση: σύγκριση ενός μεγέθους με ένα ομοειδές που θεωρείται πρότυπο και λαμβάνεται ως μονάδα. Με την μέτρηση λαμβάνεται ο αριθμός του μετρούμενου μεγέθους σύμφωνα με το πρότυπο που έχει οριστεί, συνοδευόμενο από την μονάδα μέτρησης.

(πηγή: http://ikaros.teipir.gr/lekakis/stuff/diafanies/Chap%201%20Basic%20concepts.pdf).

Μετατροπέας: καλείται η συσκευή που μετατρέπει τη μετρήσιμη ποσότητα από μία φυσική μορφή σε μία ανιχνεύσιμη μορφή σήματος(ηλεκτρική, μηχανική, οπτική, κλπ). (πηγή: http://ikaros.teipir.gr/lekakis/stuff/diafanies/Chap%201%20Basic%20concepts.pdf).

Η **βαθμίδα του μορφοτροπέα** μετατρέπει το σήμα του μετατροπέα στην επιθυμητή μορφή(π.χ. ενίσχυση, μείωση θορύβου).

(πηγή: http://ikaros.teipir.gr/lekakis/stuff/diafanies/Chap%201%20Basic%20concepts.pdf).

Αισθητήρας: συσκευή που μετατρέπει το μετρούμενο φυσικό ή μη φυσικό σήμα σε ηλεκτρικό σήμα που μπορεί να επεξεργαστεί ή να μετρηθεί ηλεκτρονικά(φυσικό σήμα/ηλεκτρικό σήμα).

(πηγή: http://ikaros.teipir.gr/lekakis/stuff/diafanies/Chap%201%20Basic%20concepts.pdf).

Βαθμίδα εξόδου: παρέχει την ένδειξη της τιμής της μέτρησης (συσκευή ανάγνωσης ή καταγραφής).

(πηγή: http://ikaros.teipir.gr/lekakis/stuff/diafanies/Chap%201%20Basic%20concepts.pdf).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1.1. Εισαγωγή στα σφάλματα

Τα αποτελέσματα μιας ποσοτικής μέτρησης είναι συνήθως υπό την μορφή αριθμητικών δεδομένων. Αντιπροσωπεύουν τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, οι οποίες λήφθηκαν όσο το δυνατόν κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Κατά την διεξαγωγή οποιασδήποτε μέτρησης, οποιουδήποτε τομέα, όλα τα μεγέθη που λαμβάνονται περιέχουν αναπόφευκτα σφάλμα. Επομένως, όλα τα αποτελέσματα διακρίνονται από κάποιο βαθμό αβεβαιότητας που δεν μπορεί να μηδενιστεί όμως να περιοριστεί σ' ένα αποδεκτό βαθμό ανάλογα με τα όργανα αξιοπιστίας που χρησιμοποιούνται. Ο μελετητής θα πρέπει πριν το πείραμα ή την μέτρηση να ορίσει την σημασία του αποτελέσματος και να καθορίσει τα όρια της αξιοπιστίας του ώστε να μη καταναλώνεται πολύτιμος χρόνος για την άσκοπη επίτευξη ακριβείας.

Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η μέτρηση μιας πόρτας για την τοποθέτηση ενός κουφώματος. Η μέτρηση μπορεί να γίνει με αρκετούς διαφορετικούς τρόπους. Ο έμπειρος μάστορας θα απαντήσει δίχως την χρήση ενός μετρητικού οργάνου αλλά με την προσωπική του εμπειρία και με όργανο μέτρησης το μάτι του, ότι το ύψος του ανοίγματος είναι μεταξύ 205cm – 510cm. Δηλαδή θα καταγραφεί σαν αποτέλεσμα :

$205\ \text{cm} \le h_1 \le 215\text{cm}$ ή $h_1 = (210\pm5)$ cm.

Όμως για την κατασκευή του κουφώματος, ο ξυλουργός θα χρησιμοποιήσει ένα μέτρο. Στην συγκεκριμένη μέτρηση, μπορεί να έχουν επίδραση διάφοροι παράγοντες στο αποτέλεσμα, όπως η τοποθέτηση του μέτρου, θερμική διαστολή ή ακόμα και η ακρίβεια κατασκευής του, αφού δεν διαθέτει πιο συχνές υποδιαιρέσεις από 0.1 cm. Χρησιμοποιώντας το μέτρο, σαν τελική τιμή είναι :

$221.25\text{cm} \le h_2 \le 221.35\text{cm}$ ή $h_2 =(211.30\pm0.05)$cm.

Τέλος, μία τρίτη μέτρηση μπορεί να υπάρξει από τον ιδιοκτήτη του σπιτιού, ο οποίος εργάζεται ως φυσικός και διαθέτει ένα όργανο ακριβείας, το συμβολόμετρο. Το αριθμητικό αποτέλεσμα που θα φανεί είναι 211.300158 cm. Γνωστά είναι μόνο τα ψηφία που δείχνει το όργανο, τα υπόλοιπα είναι άγνωστα, επομένως σαν αποτέλεσμα, στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι :

$211.3001575\ \text{cm} \le h_3 \le 211.3001585\text{cm}$ ή $h_3 = (211.3001580\pm0.0000005)$cm.

Το συμπέρασμα είναι, ότι και οι τρεις απαντήσεις είναι σωστές. Η διαφορά μεταξύ τους βρίσκεται στην ακρίβεια της κάθε μέτρησης. Σημαντικό είναι να γνωρίζουμε εάν όλα τα αριθμητικά ψηφία είναι απαραίτητα για την μελέτη που πρόκειται να πραγματοποιηθεί, δηλαδή τι ακρίβεια μπορούμε και θέλουμε να πετύχουμε. Στο παραπάνω παράδειγμα, τα δύο δεκαδικά ψηφία είναι αρκετά.

<u>Αναπόφευκτα σφάλματα</u>

Τα σύγχρονα όργανα μέτρησης, επιτρέπουν την ύπαρξη μεγάλης ακρίβειας, όμως όχι απεριόριστα επειδή οφείλεται η ίδια η ουσία της ύλης και ο στατικός χαρακτήρας των ίδιων των σωματιδίων. Σύμφωνα, με την αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg, που εκφράζεται και με την μορφή :

$$\Delta p * \Delta x \geq \frac{h}{2\pi} \qquad (1.1)$$

Όπου

Δp : το σφάλμα για τον προσδιορισμό της ορμής

Δx: το σφάλμα για τον προσδιορισμό της θέσης του σωματιδίου

h: $6.626176\text{-}10^{-27}$, η σταθερά του Plank.

Στην παραπάνω σχέση φαίνεται ότι ο προσδιορισμός του x με ακρίβεια δεν είναι εφικτός ($\Delta x \rightarrow 0$), γιατί τότε ($\Delta p \rightarrow \infty$), άρα το p δε θα γινόταν να προσδιοριστεί.

<u>Ορισμός</u>

Ο όρος «σφάλμα» σημαίνει την αναπόφευκτη έλλειψη ύπαρξης ακρίβειας σε οποιαδήποτε μέτρηση ενός μεγέθους, εκφρασμένο αριθμητικά, η οποία προέρχεται από λάθος χειρισμό του μετρητικού οργάνου, την ελαττωματικότητα, τυχόν ατελειών τους και άλλων παραγόντων, όπως επίσης και από τις συνθήκες λήψης μίας μέτρησης. Για τον λόγο ότι τα λάθη των διάφορων μετρήσεων που γίνονται με διάφορα μετρητικά όργανα, δεν έχουν το ίδιο μέγεθος για όλες τις ενδείξεις του οργάνου, οι μετρητές φροντίζουν τα μετρούμενα μεγέθη να είναι τέτοια ώστε να δίνουν παραπλήσιες τιμές με τη διάσταση του πρότυπου μεγέθους. Το σφάλμα αναγράφεται με τη μορφή :

Τιμή ±αβεβαιότητα

Παράδειγμα

Ζητείται να μετρηθεί η ωμική αντίσταση για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες, με την βοήθεια ενός πολύμετρου, για θ=26˚C,R = 22.11 kOhm ενώ για θ=79˚C, R=21.67 kOhm. Με αυτή την μορφή δε μπορούμε να συμπεράνουμε πώς μεταβάλλεται η R(θ), αφού δεν συνοδεύονται από το σφάλμα μέτρησης, δηλαδή για θ =26˚C, R= (22.11±0.04) kOhm και για θ=79˚C, R=(21.67±0.04) kOhm.

Στην θέση του σφάλματος, γράφεται η μέγιστη υποδιαίρεση του οργάνου μέτρησης.

2.2. Ταξινόμηση σφαλμάτων

Οι μετρήσεις διαφέρουν μεταξύ τους για διαφόρους λόγους αλλά κυρίως ως προς την προέλευσή τους και ακολούθως, συνοψίζονται σε δύο κατηγορίες. Τα συστηματικά ή καθορισμένα σφάλματα, οφείλονται σε συγκεκριμένα αίτια που μπορούν να αντιμετωπιστούν και τα τυχαία σφάλματα που οφείλονται σε τυχαίες αιτίες και μη ελεγχόμενες.

2.2.1. Συστηματικά σφάλματα

Τα συστηματικά σφάλματα επηρεάζουν την μέτρηση κατά τον ίδιο τρόπο όσες μετρήσεις και αν ληφθούν, αρκεί να είναι σταθερές οι συνθήκες μέτρησης. Επιδρούν προς μία κατεύθυνση στο αποτέλεσμα, πάντα, που σημαίνει ότι το επιδρά είτε θετικά είτε αρνητικά. Η εύρεση των συστηματικών σφαλμάτων είναι δυνατή, και κατά συνέπεια αφού προσδιοριστεί από τον παρατηρητή, μπορούν να ελεγχθούν, να υπολογιστούν και να ελαχιστοποιηθούν εν μέρει ή ολοκληρωτικά.

Σταθερά θεωρούνται όταν σε όλα τα δείγματα το απόλυτο μέγεθος του σφάλματος Σ είναι το ίδιο, ανεξάρτητα από την ποσότητα του προσδιοριζόμενου συστατικού. *Αναλογικά* θεωρούνται όταν το σχετικό σφάλμα (Ε/μ) είναι σταθερό ενώ το απόλυτο σφάλμα είναι ανάλογο της ποσότητας του προσδιοριζόμενου συστατικού.

Με την βοήθεια του προσδιορισμού πρότυπων δειγμάτων μεταβαλλόμενης περιεκτικότητας (μi), πετυχαίνεται ο καθορισμός του είδους και του μεγέθους ενός ίσως συστηματικού σφάλματος. Η εξίσωση της σχέσης του πειραματικού χ_i ως προς το μ_i και η γραφική τους παράσταση είναι

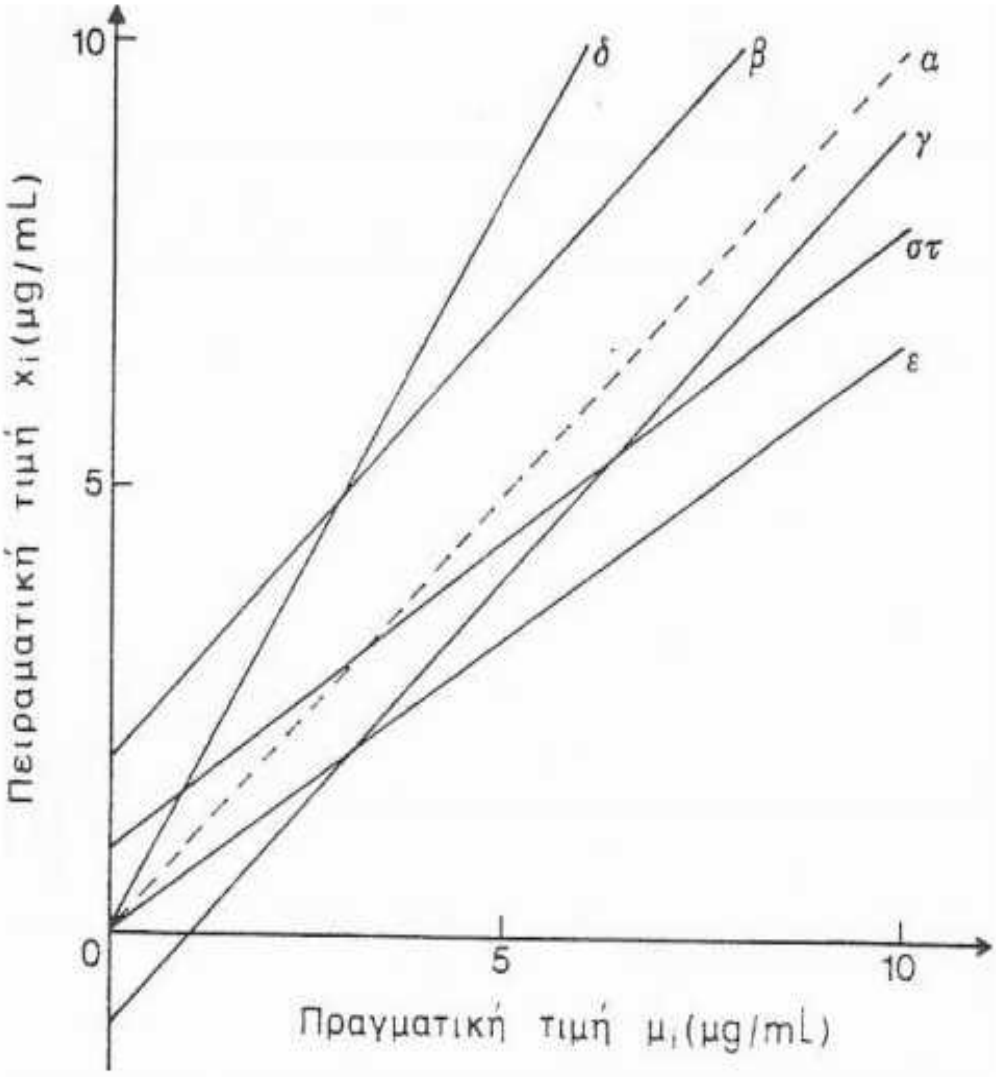
$X_i = \alpha\mu_i + \beta$

Όπου

Β : καθορισμένο σφάλμα

(α – 1) *100 ισούται με το επί τοις εκατό σχετικό αναλογικό σφάλμα

Παρακάτω, στο σχήμα (2-2), απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά διαγράμματα των τριών κατηγοριών συστηματικών σφαλμάτων ως αποτελέσματα των ελέγχων έξι διαφορετικών μεθόδων για τον προσδιορισμό ενός συστηματικού σε σειρά γνωστών πρότυπων δειγμάτων.



Σχήμα 2-2. Αντιστοίχιση πειραματικών με πραγματικών τιμών συστηματικών σφαλμάτων με διάφορους τύπους : α) Απουσία συστηματικού σφάλματος. Ιδανική περίπτωση, β) Μέθοδος με +0.2μg/mL σταθερό θετικό καθορισμένο σφάλμα, γ) Μέθοδος με -1.0μg/mL σταθερό αρνητικό συστηματικό σφάλμα, δ)Μέθοδος με +66.7˚ό αναλογικό θετικό σφάλμα, ε)Μέθοδος με -33.3˚ό αναλογικό αρνητικό σφάλμα και στ)Μέθοδος με +1.0μg/mL θετικό σύνθετο καθορισμένο σφάλμα (με -30% αναλογικό αρνητικό).

2.2.1.1. Αίτια δημιουργίας συστηματικού σφάλματος.

Τα αίτια ύπαρξης ενός συστηματικού σφάλματος μπορούν να προσδιοριστούν, ίδιου μεγέθους και πρόσημου με καθορισμένη τιμή, αρκεί οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις να είναι πανομοιότυπες και κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κυρίως κατηγορίες : προσωπικά, μεθοδολογικά και οργανολογίας.

- Προσωπικά συστηματικά σφάλματα.

Χαρακτηριστικό σφάλμα είναι η αμέλεια να επιφέρει κατάλληλες διορθώσεις σε περίπτωση αλλαγής θερμοκρασίας ή πίεσης, όπως και οι λανθασμένες εκτιμήσεις που κάνει ο εκτελών την μελέτη. Πηγή σφάλματος είναι επίσης και η αδυναμία ανάγνωσης ενός οργάνου και διάφορων μεγεθών, ο προσδιορισμός της βελόνας σε ένα όργανο μεταξύ δύο διαδοχικών υποδιαιρέσεων, ο μη μηδενισμός ενός βαθμονομημένου οργάνου αφού έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στην λήψη μίας μέτρησης, όπως επίσης και η ταχύτητα ενεργοποίησης – πατήματος κουμπιού ενός χρονομέτρου για τις μετρήσεις κάποιου χρονικού διαστήματος.

Τα προσωπικά σφάλματα διαφέρουν, σαφώς, ανάλογα με την εμπειρία από άτομο σε άτομο, την αυτοπεποίθηση της μέτρησης και την παρατηρητικότητα. Τα πρόσωπα που παίρνουν τις μετρήσεις έχουν την τάση να εκτιμούν τα αποτελέσματα προς την κατεύθυνση όπου τείνουν οι περισσότερες ή πλησιάζουν τις επιθυμητές τιμές. Μειώνονται με την απαραίτητη προσοχή αλλά και με την σιγουριά της γνώσης.

- Μεθοδολογικά συστηματικά σφάλματα

Τα μεθοδολογικά σφάλματα συνυπάρχουν στην μέτρηση και είναι αρκετά δύσκολο να ανιχνευτούν και να διορθωθούν. Δύναται να μειωθούν, μόνο στην περίπτωση όπου αλλάξουν οι συνθήκες μέτρησης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η ατελή μελετώμενη διαδικασία, για παράδειγμα η μη ολοκληρωμένη αποκατάσταση θερμικής ισορροπίας ενός δοκιμίου πριν την μέτρηση του, επίσης η αδιαφορία των ατελειών ενός δοκιμίου.

Έχοντας σαν οδηγό πρότυπα δείγματα ή διατάξεις αναφοράς, είναι κάποιοι τρόποι επαλήθευσης της μεθόδου.

- Οργανοληπτικά συστηματικά σφάλματα

Η μη ορθή χρήση βαθμονομημένων οργάνων, επίδραση της θερμοκρασίας στα ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης και ανιχνευτές, η πτώση τάσης των μπαταριών και η φθορά των οργάνων

μέτρησης όπως ενός χάρακα που συχνά φθείρεται στις άκρες, λανθασμένα σταθμά ζυγών, παραμορφωμένα όργανα μέτρησης, είναι συχνά αίτια ύπαρξης συστηματικών σφαλμάτων.

Εντοπίζονται εύκολα και σχετικά γρηγορότερα από τα υπόλοιπα είδη σφαλμάτων. Διορθώνονται με την βοήθεια βαθμονομήσεων με κατάλληλες πρότυπες διατάξεις.

Γενικά, για την απαλοιφή των συστηματικών σφαλμάτων χρειάζεται η προσεκτική χρήση των οργάνων μέτρησης, η τήρηση των σωστών συνθηκών από τις οποίες γίνονται οι μετρήσεις, η βεβαιότητα της ορθής λειτουργίας των οργάνων, η καλή συντήρηση των οργάνων, η μελέτη της θεωρίας και των πειραματικών συνθηκών όπου απαιτείται.

2.2.2. ΤΥΧΑΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Τα τυχαία σφάλματα δηλώνουν την έλλειψη επαναληψιμότητας των μετρητικών αποτελεσμάτων. Η ύπαρξή τους οφείλεται σε μη μόνιμες αιτίες όπως θόρυβος, ατέλειες των ηλεκτρονικών και αισθητήριων οργάνων, στον παρατηρητή (εσφαλμένη ανάγνωση) και ποικίλων άλλων μη προσδιορίσιμων και ελεγχόμενων παραγόντων. Αντίθετα, με τα συστηματικά, επιδρούν ακανόνιστα στα αποτελέσματα επειδή είναι δικατευθυνόμενα. Δεν είναι δυνατή η πλήρη απαλοιφή τους, για τον λόγο ότι μειώνονται με την αύξηση του αριθμού των μετρήσεων, επομένως δεν γίνεται να παρθούν άπειρες μετρήσεις.

Δείχνουν τις διακυμάνσεις των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων και καταλήγει στην κατανομή τους σχετικά με μια μέση τιμή. Οι τιμές αυτές παρουσιάζουν την λεγόμενη διασπορά. Η ύπαρξή τους σε μία μέτρηση είναι αναπόφευκτη. Μπορούν να αναπτυχθούν και να κατανοηθούν σύμφωνα με τη στατιστική θεωρία.

<u>Αίτια διασποράς :</u>

- <u>Διακύμανση της τριβής στα κινούμενα μέρη ενός μετρητικού οργάνου</u>.
- <u>Στην περιορισμένη ευαισθησία των οργάνων μέτρησης.</u>

  Κάθε ψηφιακό μετρητικό όργανο διαθέτει συγκεκριμένο πλήθος αριθμών στρογγυλοποίησης, μη επηρεαζόμενο από τις αμελητέες αλλαγές των συνθηκών μέτρησης ή αλλαγής λόγω θερμοκρασίας δοκιμίου.
- <u>Αυξομείωση της θερμοκρασίας</u>.

  οι μικρομεταβολές αυτές δεν είναι δυνατό να παρακολουθηθούν από το δοκίμιο και το πρότυπο με την ίδια ταχύτητα λόγω διαφορετικής χημικής σύνθεσης.

- <u>Διαφορετική εκτίμηση των διαφόρων παραγόντων από τον μετρητή που οφείλεται σε φυσιολογικά αίτια τα οποία ανάγονται στην ανθρώπινη φύση</u>.

  Ο παρατηρητής μπορεί να επηρεαστεί από εξωτερικούς παράγοντες, όπως απόσπαση προσοχής ή ακόμα από εσωτερικούς, όπως είναι η κούραση, η οπτική γωνία που παρατηρεί το αποτέλεσμα της μέτρησης κτλ.

Συμπέρασμα : Τα συστηματικά σφάλματα είναι περισσότερο επικίνδυνα για έναν μελετητή επειδή μετά από μία σειρά μετρήσεων η διακύμανσή τους είναι μικρή και δεν γίνεται αντιληπτό το λάθος. Τα τυχαία σφάλματα μεταξύ τους εκδηλώνουν σημαντική διασπορά στο αποτέλεσμα και είναι πιο αντιληπτά. Επομένως για να μειωθούν τα σφάλματα θα πρέπει να συντηρούνται τα όργανα μέτρησης, να ελέγχονται ως προς την σωστή λειτουργία τους (μπαταρία, συνεχή παροχή ρεύματος) ,αποφυγή πιθανών πηγών σφαλμάτων από τον παρατηρητή (απόλυτη ισορροπία του πάγκου όπου γίνεται η μέτρηση, σωστή οπτική γωνία) και σύγκριση της μέτρησης με μία πρότυπη μέτρηση.

2.3. Θεωρία σφαλμάτων

Για να υπολογιστεί η ακρίβεια με την οποία είναι δυνατό να γίνει μία μέτρηση, θα αναφερθούν περιληπτικά βασικά σημεία της θεωρίας των σφαλμάτων.

1. <u>Πραγματικά λάθη</u>

Έστω X η πραγματική τιμή ενός μεγέθους και x η μετρηθείσα τιμή. Η τιμή αυτή x λέγεται τιμή του παρατηρητή. Η διαφορά x-X ονομάζεται πραγματικό λάθος της μέτρησης και συμβολίζεται με το ε.

$\varepsilon = x - X$

Σαν επιτρεπτό λάθος, θα πρέπει το ε να είναι μικρό και να βρίσκεται μέσα σε συγκεκριμένα όρια. Αν πραγματοποιηθούν πολλές μετρήσεις σε ένα και το ίδιο μέγεθος, τότε οι τιμές που θα συγκεντρωθούν από τις μετρήσεις αυτές δείχνουν μία διασπορά γύρω από την πραγματική τιμή του μεγέθους αυτού, με συμπέρασμα ότι τα πραγματικά λάθη ε έχουν την πιθανότητα να είναι τα μισά αρνητικά και τα άλλα μισά θετικά, τοποθετημένα συμμετρικά ως προς την τιμή $\varepsilon=0$.

Επειδή η πραγματική τιμή είναι άγνωστη, άγνωστο είναι και το πραγματικό λάθος ε.

Ύστερα από αυτό ο μετρητής με προσωπική του εκτίμηση προσπαθεί να προσδιορίσει την ακρίβεια σε ένα όργανο, την διασπορά των τιμών x, σε περίπτωση πολλών παρατηρήσεων κ.τ.λ..

Η εκτιμηθείς τιμή ε θα παραστεί με την μορφή Δx, τότε, λόγω της άγνωστης πραγματικής τιμής του μεγέθους, το Δx πρέπει να προβλεφθεί με ±.

Επομένως παίρνει την μορφή :

$X = x + \Delta x$

και να αναμένεται ότι με μεγάλη πιθανότητα η πραγματική τιμή x θα βρίσκεται στην περιοχή :

$x - \Delta x < X < x + \Delta x$

Μεγαλύτερη σημασία έχει το Δx προς την μετρηθείσα τιμή x και σπάνια το λάθος Δx. Διακρίνεται λοιπόν :

Δx= απόλυτο λάθος

$$\frac{\Delta x}{x} = \text{σχετικό λάθος}$$

Το σχετικό λάθος δίνεται πολλές φορές επί τοις εκατό.

Παράδειγμα 1˚ : Με ένα βολτόμετρο μετρήθηκε η τάση και βρέθηκε ίση με 42,9 Volt. Το απόλυτο λάθος εκτιμήθηκε ίσο με

Δυ = ± 0,3 Volt. Ποιο είναι το σχετικό σφάλμα στην μέτρηση αυτή ;

Λύση :

Έχουμε U = 42,9 ± 0,3 V. Αυτό σημαίνει ότι η πραγματική τιμή της τάσης θα πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή

42,6 V< U < 43,2 V

Το σχετικό λάθος θα είναι:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\pm 0{,}3V}{42{,}9V} = \pm 0{,}007 = \pm 0{,}7\ \%$$

Παράδειγμα 2˚ : Μία απόσταση S_1 = 622,60 m προσδιορίστηκε με απόλυτο λάθος ΔS_1 = ± 20 cm και μια άλλη S_2 = 280,70 m με απόλυτο λάθος ΔS_2 = ± 15 cm. Ποια από τις δύο μετρήσεις έγινε με περισσότερη ακρίβεια;

Λύση :

$$\frac{\Delta S_1}{S_1} = \frac{\pm 20\ cm}{62260\ cm} = \pm 0{,}00032 = \pm 0{,}032\ \%$$

$$\frac{\Delta S_2}{S_2} = \frac{\pm 15\ cm}{28070\ cm} = \pm 0{,}00053 = \pm 0{,}053\ \%$$

Με την βοήθεια του σχετικού λάθους βλέπουμε ότι η πρώτη μέτρηση έγινε με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι η δεύτερη.

Πολλές φορές δεν είναι δυνατή η μέτρηση ενός μεγέθους αλλά θα πρέπει να μετρηθεί άλλα μεγέθη και από τις μετρήσεις των μεγεθών αυτών να υπολογίσουμε την τιμή του ζητούμενου μεγέθους.

Σαν παράδειγμα μπορεί να ειπωθεί ένα μέγεθος Y, το οποίο είναι συνάρτηση των μεγεθών x_1 , x_2 , x_3 , …, x_k. Η μαθηματική έκφραση της συνάρτησης αυτής είναι :

$Y = f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_k)$

Οι μετρήσεις των x_i έδωσαν τις τιμές x_i, επομένως :

$\Psi = f(x_i, x_2, x_3, \ldots, x_k)$

Σημασία έχει να είναι γνωστό η επίδραση των πραγματικών λαθών ε_i στο αποτέλεσμα του υπολογισμού, πόσο δηλαδή είναι το πραγματικό λάθος ε_ψ για το ψ.

Σύμφωνα με την θεωρία του διαφορικού λογισμού το ολικό διαφορικό της συνάρτησης αυτής θα είναι :

$$d_\psi = \frac{\theta_\psi}{\theta x_i} \cdot dx_i + \frac{\theta_\psi}{\theta x_2} \cdot dx_2 + \ \ldots + \frac{\theta_\psi}{\theta x_\kappa} \cdot dx_\kappa$$

Αν αντικατασταθεί όπου $dx_i = \varepsilon_i$, επειδή τα ε_i είναι σχετικά πολύ μικρά, μπορεί να γραφτεί ως :

$$d_\psi \simeq \Delta_\psi \simeq \varepsilon_\psi$$

Και η πιο πάνω εξίσωση γίνεται :

$$\varepsilon_\psi = \frac{\theta_\psi}{\theta x_i} \cdot \varepsilon_i + \frac{\theta_\psi}{\theta x_2} \cdot \varepsilon_2 + \ \ldots + \frac{\theta_\psi}{\theta x_\kappa} \cdot \varepsilon_\kappa$$

Στις ασκήσεις τα ε_i μπορούν να αντικατασταθούν με τα λάθη Δx_i που προκύπτουν από εκτίμηση. Επειδή τα τελευταία έχουν θετικό και αρνητικό σημείο, για λόγους ασφάλειας παίρνουμε την χειρότερη περίπτωση κατά την οποία όλα τα επιμέρους σφάλματα αθροίζονται. Τότε προφανώς προκύπτει το μέγιστο απόλυτο λάθος.

$$\Delta\psi_{max} = \left(\left| \frac{\theta_\psi}{\theta x_i} \cdot \Delta x_i \right| + \left| \frac{\theta_\psi}{\theta x_2} \cdot \Delta x_2 \right| + \cdots + \left| \frac{\theta_\psi}{\theta x_\kappa} \cdot \Delta x_\kappa \right| \right)$$

Αν Ψ = f (x) δηλαδή μία συνάρτηση με μία μόνο μεταβλητή, την x η οποία έχει το απόλυτο λάθος Δx τότε έχουμε

$\Delta_\psi = f\,'(x) \cdot \Delta x$

και για την περίπτωση αυτή το μέγιστο σχετικό λάθος θα είναι :

$$\Delta\psi_x = \frac{\Delta\psi_{max}}{\psi}$$

Παράδειγμα 1˚ : Για τον υπολογισμό μιας ηλεκτρικής αντίστασης R μετρήθηκαν η ένταση I = 15 ± 0,3 A και η τάση U = 110 ± 2 V. Ποιο είναι το μέγιστο σχετικό λάθος στον υπολογισμό της αντίστασης R ;

Λύση :

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm ισχύει η σχέση μεταξύ έντασης , τάσης και αντίστασης.

$$R = \frac{U}{I} = f \ \ U, I$$

επομένως,

$$\Delta R_{max} = \pm \left(\left| \frac{\theta_R}{\theta_U} \cdot \Delta_U \right| + \left| \frac{\theta_R}{\theta_I} \cdot \Delta_I \right| \right)$$

ή

$$\Delta R_{max} = \pm \left(\left| \frac{\Delta_U}{I} \right| + \left| \frac{U}{I^2} \cdot \Delta_I \right| \right)$$

Το μέγιστο σχετικό λάθος θα είναι :

$$\Delta R_r = \frac{\Delta R_{max}}{R} = \pm \ \frac{2}{110} + \frac{0{,}3}{15} \ \simeq \pm 0{,}04$$

Παράδειγμα 2˚ : Με την βοήθεια ενός μαθηματικού εκκρεμούς του οποίου το μήκος l = 118,5 cm και η περίοδος T = 2,180 sec, θα πρέπει να υπολογιστεί η γήινη επιτάχυνση g. Με ποια ακρίβεια πρέπει να είναι υπολογισμένο το μήκος και η περίοδος του εκκρεμούς ώστε το απόλυτο λάθος της γήινης επιτάχυνσης να μην είναι μεγαλύτερο από ± 1 cm · sec $^{-2}$.

Λύση :

Από την φυσική είναι γνωστό ότι μεταξύ μήκους, περιόδου και γήινης επιτάχυνσης υπάρχει η σχέση :

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

ή

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2} = \qquad (l, T)$$

$$\Delta g_{max} = \pm \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot \Delta l + \frac{-8\pi^2 \cdot l}{T^3} \cdot \Delta T = \pm 1\, cm \cdot sec^{-2}$$

Η εξίσου επίδραση του λάθους της μέτρησης του μήκους και της περιόδου στην επιτάχυνση φέρει το παρακάτω αποτέλεσμα :

$$\frac{4\pi^2}{T^2} \cdot \Delta l = \pm 0.5\, cm \cdot sec^{-2}$$

$$\Delta l = \pm \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot 0{,}5\, cm \cdot sec^{-2} = 0{,}06\, cm$$

Και

$$\frac{8\pi^2 \cdot l}{T^3} \cdot \Delta_T = \pm 0{,}5\, cm \cdot sec^{-2}$$

ή

$$\Delta_T = \frac{T^3}{8\pi^2 \cdot l} \cdot 0{,}5\, cm \cdot sec^{-2} = \pm 0{,}00055\, sec$$

Παρατηρείται ότι το μήκος του εκκρεμούς πρέπει να υπολογιστεί με ακρίβεια περίπου μισού χιλιοστού και η περίοδος με ακρίβεια δεκάτου χιλιοστού του δευτερολέπτου για να υπάρξει η απαιτούμενη ακρίβεια στον υπολογισμό της επιτάχυνσης.

ΕΙΔΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Αν για τον προσδιορισμό του απολύτου και σχετικού σφάλματος προκύπτει μια συνάρτηση της μορφής :

$\Psi = f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_k) = \varphi_1(x_1) \cdot \varphi_2(x_2) \cdot \ldots \cdot \varphi_k(x_k)$

τότε προσδιορίζεται εύκολα το μέγιστο λάθος απόλυτο ή σχετικό αν λογαριθμηστεί η συνάρτηση.

$$ln\psi = ln\varphi_1\ x_1 + ln\varphi_2\ x_2 + \ldots + ln\varphi_\kappa(x_k)$$

Το ολικό διαφορικό θα είναι τότε :

$$d\,|\,ln\psi\,| = \frac{d\psi}{\psi} = \frac{\varphi'_1(x_1)}{\varphi_1(x_1)} \cdot dx + \frac{\varphi'_2(x_2)}{\varphi_2(x_2)} \cdot x^2 + \ldots + \frac{\varphi'_k(x_k)}{\varphi_k(x_k)} \cdot dx_k$$

Θέτοντας όπου $dx_1 = \Delta x$, dψ = Δψ κ.τ.λ. θα είναι :

$$\Delta\psi_r = \frac{\Delta\psi_{max}}{\psi} = \pm\left(\frac{\varphi'_1(x_1)}{\varphi_1(x_1)} \cdot \Delta x + \frac{\varphi'_2(x_2)}{\varphi_2(x_2)} \cdot \Delta x^2 + \ldots + \frac{\varphi'_k(x_k)}{\varphi_k(x_k)} \cdot \Delta x_k\right.$$

Παράδειγμα : Η διάμετρος σε ένα κύλινδρο μετρήθηκε και βρέθηκε ίση με D=4,84±0,01 cm. Το ύψος του κυλίνδρου ήταν h=6,74±0,01 cm και η μάζα του m=968,5±0,1 gr. Ποιο είναι το μέγιστο σχετικό λάθος της πυκνότητας ρ το κυλίνδρου όταν υπολογιστεί με βάση τα δεδομένα αυτά τα μεγέθη ;

Λύση :

Η πυκνότητα ρ του κυλίνδρου βρίσκεται από την σχέση :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{4m}{\pi D^2 h} = f(D, h, m)$$

Λογαριθμίζοντας γίνεται :

$$ln\rho = \ln\frac{\pi}{4} + lnm - 2lnD - lnh$$

το ολικό διαφορικό της συνάρτησης αυτής θα είναι :

$$d\ ln\rho = \frac{d\rho}{\rho} = \frac{dm}{m} - \frac{2d\ D}{D} - \frac{d\square}{\square}$$

Αντί dm = Δm, d(D) = ΔD και dh = Δh θα έχουμε :

$$\frac{\Delta\rho_{max}}{\rho} = \frac{0,1}{970} + \frac{2 \cdot 0,1}{4,84} + \frac{0,01}{6,74} = 0,0057 \simeq \pm 0,6\ \%$$

Άρα το μέγιστο σχετικό λάθος στον υπολογισμό της πυκνότητας είναι :

$$\frac{\Delta\rho_{max}}{\rho} = \pm 0,6\ \%$$

Η πυκνότητα υπολογίζεται εύκολα :

$$\rho = 7,81\ \frac{gr}{cm^3}$$

Επομένως το απόλυτο μέγιστο σφάλμα θα είναι :

$$\Delta\rho_{max} = \pm 0,0057\ \rho = \pm 0,045\ \frac{gr}{cm^3} \simeq 0,05\ \frac{gr}{cm^3}$$

Άρα η πυκνότητα του κυλίνδρου μπορεί να δοθεί σαν

$$\rho = 7,81 \pm 0,05\ \frac{gr}{cm^3}$$

2.3.1. Η αρχή των ελαχίστων τετραγώνων κατά Gauss

Ο Gauss στις αρχές του 19 αιώνα διατύπωσε την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων η οποία ακολουθείται και σήμερα ακόμη για τον προσδιορισμό του μέσου πιθανού λάθους στη μέτρηση. Θα αναφερθούν τα σημαντικότερα σημεία της συγκεκριμένης αρχής.

Έστω ένα μέγεθος X , το οποίο μετρήθηκε n φορές με το ίδιο όργανο, την ίδια μετρητική μέθοδο και με τον ίδιο μετρητή. Οι μετρήσεις έδωσαν αντίστοιχα τις τιμές $l_1, l_2, l_3, \ldots, l_n$. Από τις μετρήσεις αυτές, σύμφωνα με την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων, θα πρέπει να προσδιοριστεί μια νέα τιμή η οποία θα είναι πλησιέστερη προς την πραγματική τιμή του μεγέθους αυτού. Η τιμή αυτή

x ονομάζεται **πιθανότερη** τιμή του x. Θα πρέπει λοιπόν το x να επιλεγεί τόσο ώστε κατά Gauss να ισχύει η σχέση :

$$\sum_{i=1}^{n} U_1^2 = x - l_1{}^2 + x - l_2{}^2 + \ldots + x - l_n{}^2 = f(x) \qquad (1)$$

Το ελάχιστο βρίσκεται με τιμές που μηδενίζουν την πρώτη παράγωγο της εξίσωσης αυτής.

$$\frac{df\ x}{dx} = 2\ x - l_1 + 2\ x - l_2 + \ldots + 2\ x - l_n = 0$$

Από την τελευταία εξίσωση προκύπτει :

$$nx = l_1 + l_2 + \ldots + l_n$$

$$x = \frac{\Sigma l_i}{n} \qquad (2)$$

Η πιθανότερη τιμή του x αναμένεται να είναι ο μέσος αριθμητικός που προκύπτει από τις τιμές των μετρήσεων.

Οι αποκλίσεις U_i των μετρήσεων l_i από την πιθανότερη τιμή ονομάζονται **πιθανά σφάλματα.**

$$U_i = x - l_1 \qquad i = 1, 2, 3, \ldots, n \qquad (3)$$

Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μετρήσεων n τόσο πλησιέστερα βρίσκεται η πιθανότερη τιμή x προς την πραγματική X.

Αν προστεθούν όλες οι εξισώσεις (3) και λαμβάνοντας υπ' όψη την εξίσωση (2) γίνεται :

$$\Sigma u = n \cdot x - \Sigma l = n \cdot \frac{\Sigma l}{n} - \Sigma l = 0 \qquad (4)$$

Αυτό σημαίνει ότι το άθροισμα των πιθανών σφαλμάτων είναι ίσο με το μηδέν.

Για να αποφεύγεται ο υπολογισμός του μέσου αριθμητικού με μεγάλους αριθμούς, επιλέγεται ένα x_0, σαν αφετηρία των μετρήσεων έτσι ώστε να προκύπτουν διαφορές δx με μικρούς αριθμούς. Ένας τέτοιος αριθμός x_0 θα συνδέεται με τον x και δx με την σχέση :

$$x = x_0 + \delta x$$

Από την εξίσωση (3) προκύπτει ότι :

$$U_i = x_0 + \delta x - l_i = \delta_x - (l_i - x_0)$$

και να υπάρχει ελάχιστο θα πρέπει, ανάλογα με την $\Sigma\,(\chi - l_i)^2_{\varepsilon\lambda\alpha\chi}$, να είναι:

$$\delta_x = \frac{\Sigma\,(l - x_0)}{n}$$

Παράδειγμα:

Το μήκος μιας απόστασης μετρήθηκε οκτώ φορές με τις εξής τιμές.

1.	164,35 cm	**5.**	164,39 cm
2.	164,32 cm	**6.**	164,31 cm
3.	164,36 cm	**7.**	164,35 cm
4.	164,34 cm	**8.**	164,37 cm

Ζητείται να υπολογιστεί ο μέσος αριθμητικός και να ελεγχθεί με την εξίσωση (4).

Λύση :

Σαν αφετηρία των μετρήσεων παίρνουμε την τιμή $x_0 = 164{,}30\ m$ και καταστρώνουμε τον πιο κάτω πίνακα.

α/α	l_1	U_i	
1.	164,35 m	-0,001 m	$\delta x = \frac{\Sigma(l - x_0)}{n} = \frac{0{,}39}{8}$
2.	164,32 m	0,029 m	
3.	164,36 m	-0,011 m	
4.	164,34 m	0,009 m	$\delta x = 0{,}049\ m$
5.	164,39 m	-0,041 m	
6.	164,31 m	0,039 m	$x = x_0 + \delta x =$
7.	164,35 m	-0,001 m	*164,30+0,049m*
8.	164,37 m	-0,021 m	
			X = 164,349 m
	$\Sigma\ l - x_0 = 0{,}39\ m$	+ 0,077m	
		- 0,075 m	
		Συ ≃ 0m	

2.4. Το μέσο λάθος σαν μέσο λάθος σαν μέτρο ακριβείας στις μετρήσεις

Στις προηγούμενες μετρήσεις, θεωρήθηκε βασική προϋπόθεση η ίδια ακρίβεια για κάθε μέτρηση. Προτιμότερο όμως είναι να χρησιμοποιηθεί σαν μέτρο ακρίβειας μια μέση τιμή η οποία όμως να προκύπτει από τα πιθανά λάθη U_i.

Η μέση αριθμητική τιμή δεν είναι σωστή επειδή $\Sigma U_i = 0$. Προσθέτοντας τις απόλυτες τιμές όλων των U_i και διαιρώντας το άθροισμα με τον αριθμό των μετρήσεων δίνει σαν αποτέλεσμα το **κατά μέσο όρο λάθος t**.

$$t = \pm \frac{\Sigma U_i}{n}$$

Μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια μέτρησης μιας εργασίας όταν προσδιορίζεται το **μέσο λάθος** το οποίο από την σχέση :

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (x - l_i)^2}{n - 1}}$$

Το μέσο λάθος δίνει σαν μέτρο ακριβείας, την μέση απόκλιση μιας μέτρησης από την πιθανότερη τιμή της, δηλαδή όταν το n γίνει πολύ μεγάλο τότε πλησιάζουμε την πραγματική τιμή. Μπορεί να θεωρηθεί ότι το m είναι ένα μέτρο για την διασπορά των μετρήσεων περί την μέση αριθμητική τιμή.

Τότε είναι :

Μέτρο διασποράς = m^2

Παράδειγμα : Για τον ακριβή προσδιορισμό του μήκους σ ’ένα αντικείμενο έγιναν οκτώ μετρήσεις από δύο παρατηρητές Α και Β.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Μετρητής Α				**Μετρητής Β**			
α/α	L_i *mm*	U_i *mm*	U_i^2 *mm*	L_i *mm*	U_i *mm*	U_i^2 *mm*	*α/α*
1	1283,0	0,1	0,01	1283,0	0,0	0,00	1
2	1282,9	0,2	0,04	1283,5	-0,5	0,25	2
3	1283,4	-0,3	0,09	1282,4	0,6	0,36	3
4	1283,0	0,1	0,01	1283,0	0,0	0,00	4
5	1283,3	-0,2	0,04	1282,9	0,1	0,01	5
6	1282,8	0,3	0,09	1283,3	-0,3	0,09	6
7	1283,4	-0,3	0,09	1282,9	0,1	0,01	7
8	1283,0	0,1	0,01	1283,0	0,0	0,00	8
Σ	8,8	0,0	0,38	8,0	0,0	0,72	

Μετρητής Α Μετρητής Β

$$x = \left(1282.0 + \frac{8,8}{8}\right) mm$$

$$x = 1283,1\ mm$$

$$t = \pm\ \frac{1,6}{8}\ mm = \pm 0,2\ mm$$

$$m = \pm\ \sqrt{\frac{0,3}{7}}\ mm = \pm 0,23\ mm$$

$$x = \left(1282.0 + \frac{8,8}{0}\right) mm$$

$$x = 1283,0\ mm$$

$$t = \pm\ \frac{1,6}{8}\ mm = \pm 0,2\ mm$$

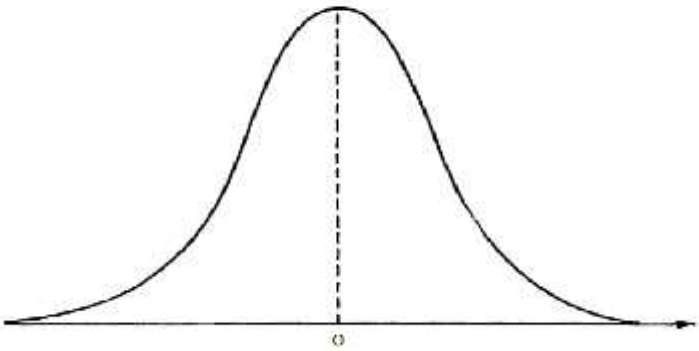
$$m = \pm\ \sqrt{\frac{0,72}{7}}\ mm = \pm 0,32\ mm$$

Λαμβάνοντας σαν μέτρο ακριβείας το κατά μέσο όρο λάθος στις μετρήσεις αυτές, τότε και οι δυο μετρήσεις έχουν κάνει μετρήσεις με την ίδια ακρίβεια.

Όμως, λαμβάνοντας σαν μέτρο ακριβείας το μέσο λάθος τότε ο μετρητής Α έβγαλε καλύτερα αποτελέσματα. Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποίησε καλύτερο μετρητικό όργανο ή ότι ήταν πιο προσεχτικός. Πραγματικά στον μετρητή Α τα πιθανά λάθη U_i είναι ομοιόμορφα διατεταγμένα, ενώ στον μετρητή Β η διάταξη τους είναι ανομοιόμορφη.

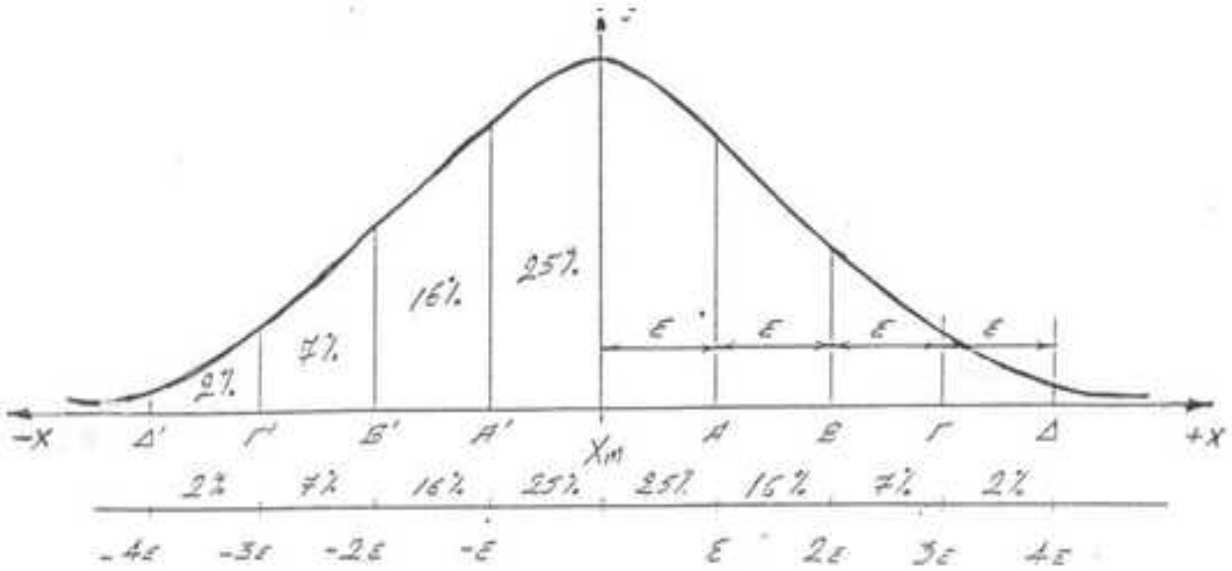
2.5. Η πρακτική εφαρμογή της θεωρίας Gauss

Η εφαρμογή του Gauss βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή στην περίπτωση παραγωγής βιομηχανικών προϊόντων μεγάλο αριθμό, γιατί όπως θα αναφερθεί παρακάτω, αρκεί να πραγματοποιηθεί έναν μικρό αριθμό μετρήσεων, για τον προσδιορισμό των διαστάσεων μικρού αριθμού προϊόντων, τα οποία έγιναν με δοκιμαστική παραγωγή και με μεγάλη στατική βεβαιότητα να μπορεί να προβλεφθεί η τιμή αυτών των τιμών και σε όλα τα άλλα που θα παραχθούν μελλοντικά με τις ίδιες συνθήκες.



Αν σαν αρχή μετρήσεων πάρουμε την μέση αριθμητική τιμή που προκύπτει από τις λίγες μετρήσεις που διεξάχθηκαν τότε η καμπύλη σφαλμάτων κατά Gauss έχει την παραπάνω μορφή.

Σαν μέσο πιθανό σφάλμα θεωρεί ο Gauss εκείνη την τεταγμένη, η οποία μεταβαλλόμενη από -ε έως +ε χωρίζει την επιφάνεια των σφαλμάτων σε δύο ίσα μέρη.



Η ίδια καμπύλη δείχνει και την συχνότητα που αναμένεται η εμφάνιση μιας τιμής που εμφανίστηκε στις λίγες μετρήσεις που έγιναν, σε μελλοντική παραγωγή των ίδιων προϊόντων και σε συνάρτηση βέβαια με το μέσο πιθανό λάθος.

Με την βοήθεια της καμπύλης αυτής μπορεί με στατική βεβαιότητα 99,7%, αφού διεξαχθεί ένας μικρός αριθμός μετρήσεων και με βάση τις μετρήσεις αυτές να προσδιοριστεί η μέση αριθμητική τιμή $\bar{x}$ και το μέσο πιθανό σφάλμα ε, να είναι γνωστό ότι η τιμή π.χ. που βρίσκεται στο διάστημα $\bar{x} \div \bar{x} + \varepsilon$ να εμφανιστεί με συχνότητα 25% ενώ, μια άλλη που βρίσκεται στο διάστημα $\bar{x} - 3\varepsilon \div \bar{x} - 2\varepsilon$ με συχνότητα 7%. Το μέσο πιθανό σφάλμα ε συνδέεται με την τετραγωνική απόκλιση Q με την σχέση :

$$\varepsilon = 0{,}675\, Q$$

Σαν **σταθερή απόκλιση Q** χαρακτηρίζεται η τυχαία απόκλιση των ευρεθεισών τιμών από την μέση τιμή.

Η σταθερή απόκλιση είναι το μέσο τετραγωνικό λάθος που γίνεται σε κάθε μέτρηση και δίνεται από τη σχέση :

$$Q = \sqrt{\frac{\Sigma(x_1 - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Στον τελευταίο τύπο, $(x_1 - \bar{x})$ είναι η εκάστοτε διαφορά των διάφορων μετρήσεων τιμών που βρέθηκαν από τις μετρήσεις από την μέση τιμή και n ο αριθμός των μετρήσεων.

Παράδειγμα : Με ένα μετρητικό όργανο έγιναν μετρήσεις για τον προσδιορισμό του ύψους ενός κυλίνδρου, το οποίο σύμφωνα με το σχέδιο έπρεπε να έχει την τιμή 25,550 ± 0,01 mm.

Οι μετρήσεις έγιναν σε δέκα όμοιους κυλίνδρους και έδωσαν τις πιο κάτω τιμές.

Αριθμός μέτρησης	**Αποτέλεσμα**	**Αριθμός μέτρησης**	**Αποτέλεσμα**
1	25,552 mm	6	25,558 mm
2	25,552 mm	7	25,554 mm
3	25,544 mm	8	25,550 mm
4	25,548 mm	9	25,544 mm
5	25,546 mm	10	25,552 mm

Ποια είναι η πιθανή κατανομή των διαστάσεων του μεγέθους αυτού; Αν πρόκειται να παραχθούν 100.000 όμοιοι κύλινδροι, πόσοι απ' αυτούς προβλέπεται να είναι καλοί και πόσοι ακατάλληλοι;

Λύση :

Με βάση τις τιμές που πήραμε καταστρώνουμε τον πιο κάτω πίνακα. Σαν αρχή μετρήσεων παίρνουμε την τιμή 25,500 mm για να μην έχουμε δεκαδικούς αριθμούς.

α/α μέτρησης	x	$x_i - \bar{x}$ +	$x_i - \bar{x}$ -	$(x_i - \bar{x})^2$	
1	52	2		4	$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{N} =$
2	52	2		4	
3	44		6	36	$= \frac{500}{10} = 50$
4	48		2	4	
5	46		4	16	

6 7 8 9 10	58 54 50 44 52	8 4 2	 6 	64 16 36 4	$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma\delta_i^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{184}{9}} = 4{,}5$ *ε=0,675σ=3μm*
	$\Sigma_x = 500$	18	18	184	

Αφού υπολογίστηκε το μέσο πιθανό σφάλμα ε =3μm εύκολα γίνεται η κατανομή των τιμών κατά Gauss. Για διευκόλυνση αντικαθιστάται η καμπύλη με μία ευθεία στην οποία αποτυπώνονται τα διάφορα χαρακτηριστικά διαστήματα κάνοντας αρχή από την μέση αριθμητική τιμή $\bar{x}$.

	2%		7%		16%		25%		25%		16%		7%		2%	
$\bar{x}-4\varepsilon$		$\bar{x}-3\varepsilon$		$\bar{x}-2\varepsilon$		$\bar{x}-\varepsilon$		$\bar{x}$		$\bar{x}-\varepsilon$		$\bar{x}-2\varepsilon$		$\bar{x}-3\varepsilon$		$\bar{x}-4\varepsilon$
25,538		25,541		25,544		25,547		25,550		25,553		25,556		25,559		25,562

Σύμφωνα με το σχήμα της προηγούμενης σελίδας, μόνο 4% δηλαδή 4.000 τεμάχια θα έχουν ύψος έξω από τα επιτρεπτά όρια, δηλαδή θα είναι ακατάλληλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΟΧΕΣ - ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ

3.1. Γενικά περί ανοχές – συναρμογές

Η αλματώδη τεχνική και βιομηχανική εξέλιξη των τελευταίων ετών απαιτεί χωρίς αμφισβήτηση, την δυνατότητα εναλλακτικότητας των βιομηχανικών προϊόντων, κυρίως των μηχανουργικών. Το κάθε μηχάνημα αποτελείται από πολλά εξαρτήματα συναρμολογημένα μεταξύ τους για την σωστή λειτουργία. Όταν έστω ένα από αυτά καταστραφεί, η ζημία είναι σημαντικά υπολογίσιμη για τον οικονομικό τομέα της βιομηχανίας.

Παλαιότερα τα διάφορα εξαρτήματα προσαρμόζονταν μεταξύ τους χειρονακτικά. Αυτό όμως απαιτούσε ειδικευμένο προσωπικό, χρονοβόρα διαδικασία, απρόβλεπτα σφάλματα και σαφώς υψηλό κόστος.

Όταν λέμε εναλλακτικότητα εννοούμε την δυνατότητα κατεργασίας των διάφορων μηχανουργικών προϊόντων με μικρή απόκλιση από την ονομαστική τους διάσταση, έτσι ώστε το ένα στοιχείο να αντικαθιστά άλλο, όμοιο προς αυτό, στην αντίστοιχη θέση του.

Η ανάγκη για εναλλακτικότητα προκύπτει από τους εξής λόγους:

I) Κατά την διάρκεια της μηχανικής κατεργασίας γίνεται χρήση ιδιοσυσκευών οι οποίες τότε μόνο διευκολύνουν την παραγωγή όταν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλα τα κατεργαζόμενα αντικείμενα.
II) Περαιτέρω κατεργασία με λίμα και σμυριδόπανο στα αντικείμενα που κατεργάστηκαν αποφεύγεται, σε περίπτωση συνεργασίας αυτών με άλλα στοιχεία, έτσι ώστε να προκύπτει οικονομικό όφελος.
III) Σε περίπτωση μαζικής παραγωγής, κατά την οποία ο μηχανικός εξοπλισμός έχει διατεθεί, έτσι ώστε να υπάρχει συνεχής ροή, μόνο αντικείμενα που έχουν εναλλακτικότητα μπορούν να κατεργαστούν.
IV) Η συναρμολόγηση στοιχείων σε ένα ενιαίο σύνολο είναι εύκολη, χωρίς την επέμβαση ειδικευμένων τεχνιτών.
V) Προμήθεια φτηνών καινούριων αντικειμένων για αντικατάσταση των φθαρμένων.

Κάθε εξάρτημα που θα κατασκευαστεί ανεξαρτήτως μεγέθους ή υλικού πρέπει αρχικά να σχεδιαστεί και έπειτα να οριστούν οι διαστάσεις του. Η εναλλακτικότητα των τεμαχίων είναι χρήσιμη και επιτρεπτή όταν οι διαστάσεις των τεμαχίων δεν περιέχουν σφάλματα. Στο κεφάλαιο των σφαλμάτων απεδείχθη ότι οποιαδήποτε μέτρηση περιέχει αναπόφευκτο σφάλμα. Επίσης, οι λόγοι που δεν επιτρέπεται η παραγωγή πανομοιότυπων τεμαχίων, ποικίλουν. Εκτός από τα διάφορα σφάλματα όπως αναφέρθηκαν, πιο πάνω, άλλα αίτια είναι οι φθορές στα εργαλεία κατασκευής, οι θερμοκρασιακές επιδράσεις, όπως επίσης και ο ίδιος ο ανθρώπινος παράγοντας. Η διαφορά μεταξύ της διάστασης του σχεδίου και της πραγματικής διάστασης του τεμαχίου, απαιτείται να βρίσκεται εντός ορισμένων ορίων για να μη χαρακτηριστεί «σκάρτο». Τα όρια αυτά λέγονται ***ανοχές***.

Επομένως, ανοχή καλείται το παραδεκτό σφάλμα κατά την κατασκευή μιας διαστάσεως, η οποία είναι γραμμένη στο σχέδιο,

όπως εμφανίζεται στο διπλανό σχήμα.

Τα στοιχεία που έχουν παραχθεί με μηχανική κατεργασία, κατά την συναρμολόγηση τους, θα πρέπει το ένα από αυτά να συνδεθεί με το άλλο με τρόπο ώστε μεταξύ τους ή να υπάρχει ελευθερία κίνησης ή να υπάρχει σταθερή έδραση, δηλαδή, ακινητοποίηση του ενός σε σχέση με το άλλο ή ακόμη να υπάρχει δυνατότητα ολίσθησης μεταξύ τους αλλά όχι και περιστροφής του ένα μέσα στο άλλο. Τα διάφορα είδη σύνδεσης και συνεργασίας των τεμαχίων, τα ονομάζουμε ***συναρμογές***.

Η συναρμογή περιλαμβάνει δύο στοιχεία. Ένα που περιέχεται, ο άξονας (ή αρσενικό) και ένα που περιέχει, τρήμα (ή θηλυκό). Απαραίτητη προϋπόθεση, τα δύο στοιχεία που θα αποτελέσουν την συναρμογή, πρέπει να έχουν την ίδια ονομαστική διάσταση. Εάν η συναρμογή των τεμαχίων γίνεται με ευκολία, τότε λέγεται συναρμογή με χάρη ή ελεύθερη συναρμογή και εάν η συναρμογή γίνεται με δυσκολία, τότε λέγεται συναρμογή με σύσφιξη. Η μεταβατική συναρμογή, καλείται η συναρμογή αμφίβολης σύσφιξης των τεμαχίων.

Παλαιότερα, προκειμένου να συναρμολογήσει κάποιος έναν άξονα στο αντίστοιχο τρήμα του (οπή) κατεργαζόταν ένα δακτύλιο με τη μικρότερη διάσταση του άξονα και ένα κύλινδρο με διάμετρο την μεγαλύτερη διάσταση τρήματος. Με τον τρόπο αυτό δεν επιτύγχαναν πάντοτε την εναλλακτικότητα των στοιχείων. Για να κατορθωθεί η απαραίτητη χάρη ή σύσφιξη, χρειαζόταν αρκετές ώρες απασχόλησης προσωπικού και δεν ήταν οικονομική.

Το είδος της συναρμογής δίνεται ανάλογα με την διάσταση του δακτυλίου και του κυλινδρικού ελεγκτήρα. Πολλές φορές όμως ο άξονας είναι ανάγκη να τοποθετηθεί μέσα στο τρήμα με την μέγιστη δύναμη ώστε να επακολουθήσει σύσφιξη μεταξύ των δύο στοιχείων. Ο παραπάνω τρόπος δεν είναι αποδεκτός στη συγκεκριμένη περίπτωση, διότι έδινε μόνο τη μέγιστη χάρη της συναρμογής.

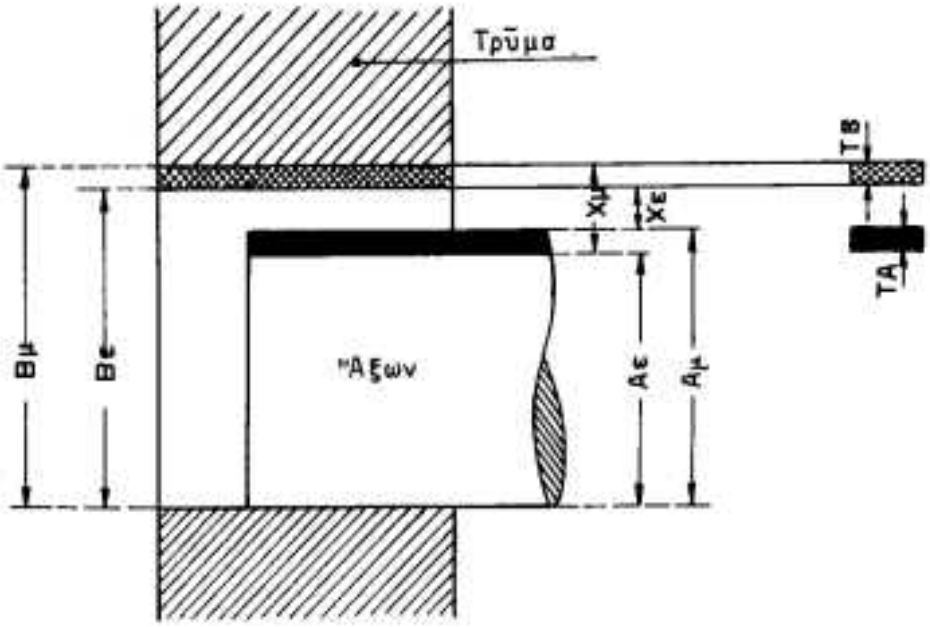
Η ποιότητα μιας συναρμογής είναι καλή όταν καθοριστούν τα όρια της μέγιστης και της ελάχιστης διάστασης των δύο συνεργαζόμενων στοιχείων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση οριακών διαστάσεων. Επομένως μόνο με τον πλήρη καθορισμό οριακών διαστάσεων είναι δεδομένη η πετυχημένη εναλλακτικότητα.

Στα τέλη του 18^{ου} αιώνα, έγιναν τα πρώτα βήματα για την καθιέρωση της εναλλακτικότητας από τα διάφορα εργοστάσια της Αμερικής και της Ευρώπης. Για την επίτευξη αυτή ορίστηκε η μέγιστη διάσταση του άξονα (A_μ) και το ελάχιστο της απαιτουμένης για την λειτουργία της χάρης (X_ε), οπότε η ελάχιστη διάμετρος του τρήματος προκύπτει ότι είναι ίσο με $B_\varepsilon = A_\mu + X_\varepsilon$. Έτσι γίνεται ο έλεγχος των τρημάτων με τους κυλίνδρους διαμέτρου (B_ε). Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η εναλλακτικότητα των εξαρτημάτων, όμως δεν ορίζει την ποιότητα της κατασκευής, εφόσον καθορίζεται μόνο το ελάχιστο της χάρης.

Το δεύτερο στάδιο προόδου των ανοχών είναι η εξάλειψη αυτής της ατέλειας με τον καθορισμό και του μέγιστου ανεκτού ορίου ή την μέγιστη χάρη (X_μ). Επομένως η διαφορά (Β - Α) των διαμέτρων του τρήματος και του άξονα κυμαίνεται στα επιτρεπτά όρια των X_μ και X_ε.

$$X_\mu \geq B - A \geq X_\varepsilon \qquad (1)$$

Για να επιτευχθεί όμως αυτό είναι αναγκαίος ο ορισμός των μέγιστων επιτρεπτών ορίων σφάλματος των διαμέτρων του τρήματος και του άξονα, τα οποία είναι οι ανοχές της κατασκευής αυτής.



Εικόνα 3.1

Το μέγιστο της χάρης (X_μ) θα προκύψει προφανώς, εάν συναρμολογηθεί ο άξονας της ελάχιστης διαμέτρου (A_ε) με το τρήμα της μεγίστης διαμέτρου (B_μ), γίνεται:

$$X_\mu = B_\mu - A_\varepsilon \qquad (2)$$

Το ελάχιστο της χάρης (X_ε) θα προκύψει, εάν συναρμολογηθεί ο άξονας της μέγιστης διαμέτρου με το τρήμα της ελάχιστης διαμέτρου, γίνεται:

$$X_\varepsilon = B_\varepsilon - A_\mu \qquad (3)$$

Εάν αφαιρεθούν τα μέλη της (3) από την (2), προκύπτει η σχέση:

$$X_\mu - X_\varepsilon = B_\mu - B_\varepsilon + A_\mu - A_\varepsilon = T_B + T_A \qquad (4)$$

Το αποτέλεσμα της αφαίρεσης μας δίνει το άθροισμα των ανοχών του τρήματος και του άξονα, το οποίο λέγεται και ανοχή της συναρμογής (T) και ισούται με την διαφορά μεγίστου και ελαχίστου της χάρης, έτσι:

$$X_\mu - X_\varepsilon = T_A + T_B = T \qquad (5)$$

Το κύριο χαρακτηριστικό του δεύτερου σταδίου, ήταν η έλλειψη κοινής ενότητας σκέψης για ό,τι αφορά τον καθορισμό των οριακών διαστάσεων. Αποτέλεσμα της ελλείψεως αυτής ήταν ότι κάθε εργοστάσιο είχε δικά του όρια διαστάσεων και τους δικούς του ελεγκτήρες, τους οποίους τους χρησιμοποιούσαν ελάχιστα.

Το τρίτο και μεγάλο βήμα, ήταν η « τυποποίηση των συναρμογών». Αρχικά η τυποποίηση εφαρμόσθηκε στα μεγάλα εργοστάσια, ύστερα από στατιστικά στοιχεία των γραφείων μελετών και της πείρας που κατείχαν, θεσπίστηκαν οι κανόνες οριακών διαστάσεων συναρμογών. Η πρόοδος αυτή συντελέστηκε πριν τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, με ευκρινή αποτελέσματα στην βιομηχανική ανάπτυξη. Τα κράτη άρχισαν να την ίδρυση οργανισμών που θα είχαν στόχο την τυποποίηση σε όλη την έκταση της χώρας. Για αυτό τον λόγο έχουμε τα συστήματα ανοχών DIN στην Γερμανία, VSM στην Ελβετία, ASME στην Αμερική, BSA στην Αγγλία, CFS στην Γαλλία, κ.τ.λ.

Το 1928 πραγματοποιήθηκε το τελευταίο βήμα προόδου, «η διεθνής τυποποίηση», στην Πράγα, όπου τελέστηκε το πρώτο συνέδριο της International Federation of the National Standardizing Associations (ISA). Το 1932 εκδόθηκαν τα πρώτα πρότυπα του συστήματος ανοχών ISA. Αργότερα, το ISA μετατράπηκε σε ISO, κατόπιν την διεύρυνση του οργανισμού, από Association σε Organization.

3.2. Ορισμοί

Θερμοκρασία αναφοράς

Λόγω των μικρών ορίων μέσα στα οποία κυμαίνονται οι ανοχές στη σύγχρονη μηχανική κατεργασία, δεν γίνεται να προβλεφθεί η επίδραση της θερμοκρασίας αλλά ούτε και να παραβλεφθεί. Μήκος 100m χαλύβδινου ελεγκτήρα μεταβάλλεται κατά 10μm για διαφορά

θερμοκρασίας 10˚C. Άξιο παρατήρησης η επίδραση της θερμοκρασίας διότι μπορεί να δώσει εσφαλμένα αποτελέσματα ελέγχου.

Για τον λόγο αυτό, αναγκαίο για την εναλλακτικότητα των στοιχείων, όλα τα μετρητικά όργανα και ελεγκτήρες της βιομηχανίας να δίνουν σωστά αποτελέσματα σε ορισμένη θερμοκρασία. Ορίστηκε η θερμοκρασία των 20˚C για τα μετρητικά όργανα και τους ελεγκτήρες. Η θερμοκρασία αυτή ονομάζεται ***θερμοκρασία αναφοράς ή θερμοκρασία ορισμού***.

Στην συγκεκριμένη θερμοκρασία θα πρέπει όλα τα μετρητικά όργανα και οι ελεγκτήρες να δίνουν ορθά, μη μεταβαλλόμενα αποτελέσματα. Η θερμοκρασία των 20˚C αντιπροσωπεύει τον μέσο όρο θερμοκρασίας σε ένα μηχανουργείο και μπορεί να τηρηθεί εύκολα στον χώρο μετρήσεων κάθε βιομηχανικής μονάδας. Την ίδια θερμοκρασία δέχτηκαν όλες οι χώρες που χρησιμοποιούν το μετρητικό σύστημα, όπως επίσης οι Η.Π.Α. και οι αγγλόφωνες.

Η τήρηση του κανονισμού της θερμοκρασίας αναφοράς, ισχύει και τον έλεγχο των ελεγκτήρων και αυτό επειδή υπάρχουν ελεγκτήρες που δεν αποτελούνται μόνο από ένα υλικό, αλλά από διάφορα που το κάθε ένα έχει τον δικό του συντελεστή διαστολής. Ο κατασκευαστής τους, λαμβάνοντας αυτό υπόψη του, τους υπολογίζει έτσι ώστε να είναι αποτελεσματικοί μόνο στην θερμοκρασία αναφοράς.

Ονομαστική διάσταση N: καλείται η διάσταση των συναρμογών που αναγράφεται πάνω στο σχέδιο ή στο μεμονωμένο τεμάχιο που προκύπτει από υπολογισμό. Λαμβάνεται ως αφετηρία μετρήσεως των ορίων ανοχών.

Πραγματική διάσταση: είναι η ευρισκόμενη από τις μετρήσεις.

Οριακές διαστάσεις: καλούνται η μέγιστη (A_μ) και η ελάχιστη (A_ε) του άξονα ή η μέγιστη (B_μ) και η ελάχιστη (B_ε) του τρήματος. Μεταξύ των ορίων αυτών πρέπει να βρίσκονται οι πραγματικές τιμές των τεμαχίων για να θεωρούνται εναλλάξιμα και εμπορεύσιμα, δηλαδή όχι σκάρτα.

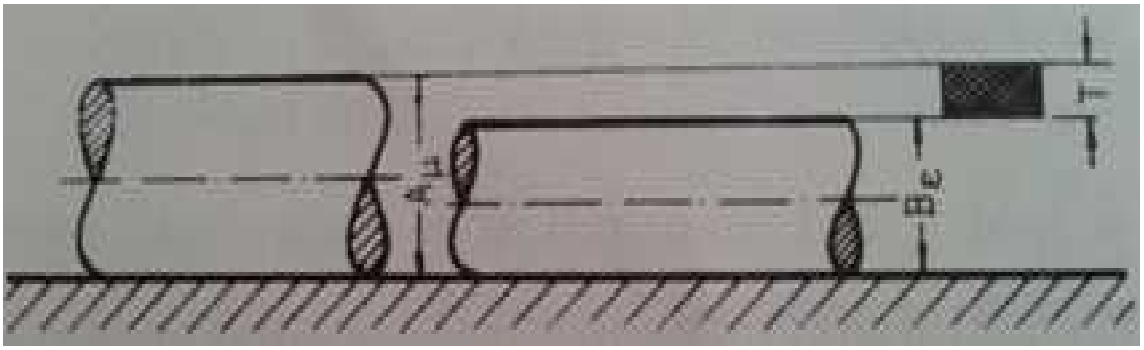
Μέγιστη διάσταση: D_g, L_g καλείται η μεγαλύτερη των οριακών διαστάσεων.

Ελάχιστη διάσταση: D_k, L_k, ονομάζεται η μικρότερη των οριακών διαστάσεων.

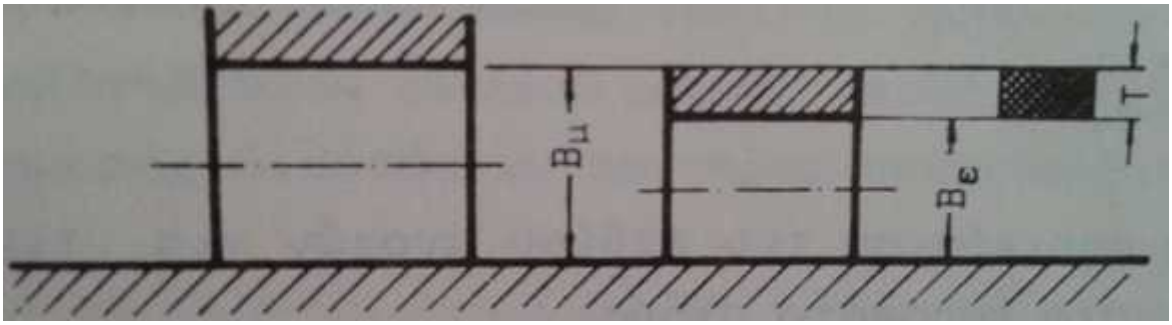
Ανοχή άξονος (T_A) ή ανοχή τρήματος (T_B) είναι το μέγιστο ανεκτό σφάλμα στην διάσταση του άξονος ή του τρήματος.

Εξ ορισμού: $T_A = A_\mu - A_\varepsilon$ και $T_B = B_\mu - B_\varepsilon$.

Ανοχή συναρμογής (T): καλείται το άθροισμα των ανοχών άξονος και τρήματος: $T = T_A + T_B$.



Εικόνα 3.2 **.:** Ανοχή άξονα

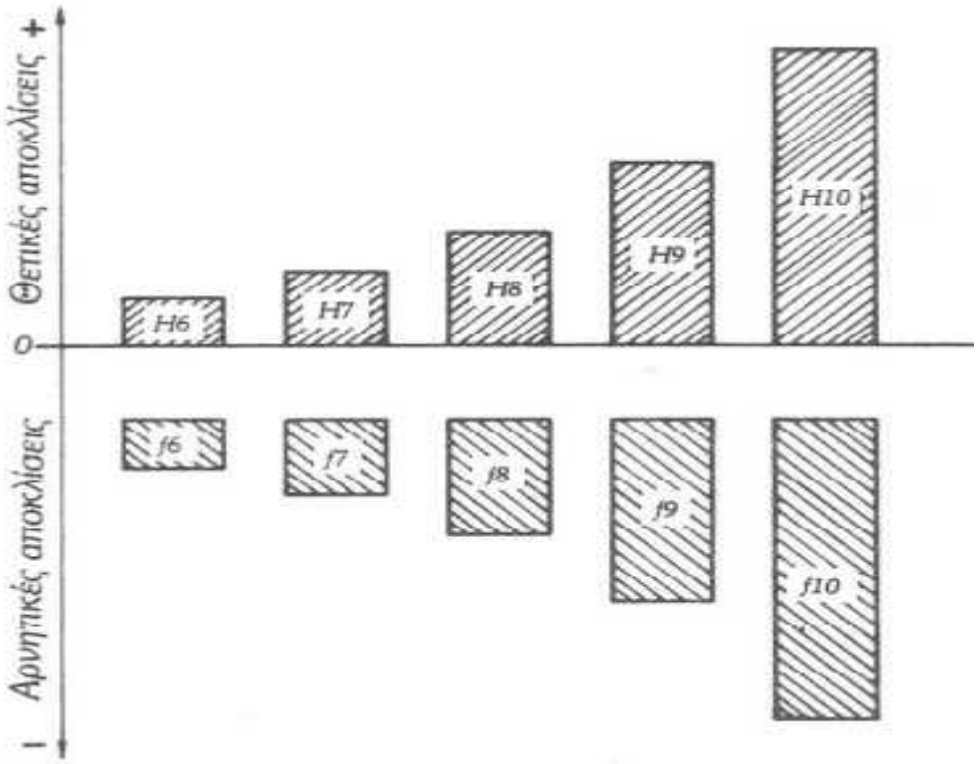


Εικόνα 3.3. : Ανοχή τρήματος

Μηδενική γραμμή: καλείται η γραμμή η οποία σε γραφική απεικόνιση του πεδίου ανοχών συμπίπτει με την ονομαστική διάσταση. Η απόκλιση της είναι πάντοτε μηδέν και λαμβάνεται σαν αφετηρία για τις προς τα πάνω ή προς τα κάτω αποκλίσεις.

Στο σύστημα ανοχών – συναρμογών, προβλέπονται 27 θεμελιώδης αποκλίσεις, επομένως και 27 κατηγορίες ανοχών. Ο συμβολισμός τους γίνεται με γράμματα από το λατινικό αλφάβητο. Συγκεκριμένα, η αναφορά στο γίνεται με κεφαλαίο γράμμα και η αναφορά στον άξονα με μικρό, όπως θα παρατηρηθεί στο παρακάτω διάγραμμα.

Η αναφορά μίας οπής μπορεί να παραστεί όπως το επακόλουθο παράδειγμα, 30H8, παριστάνει μία οπή, της οποίας η ονομαστική διάσταση είναι 30mm, η ανοχή είναι ποιότητας 8.



Εικόνα 6.4.

Πεδίο ανοχών: καλείται το πεδίο το περιοριζόμενο με τις γραμμές της μεγαλύτερης και μικρότερης διάστασης ενός μεγέθους σε γραφική απεικόνιση. Το πεδίο ανοχών δίνει το μέγεθος της ανοχής αλλά και τη θέση αυτής ως προς την ονομαστική διάσταση.

Η θέση του πεδίου ανοχών, σε σχέση με την ονομαστική διάσταση, μπορεί να είναι διαφορετική. Εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο δίνεται η ανοχή, για παράδειγμα, για ένα μέγεθος 80mm υπολογίζεται η ανοχή του σε 100μm. Η ανοχή αυτή δύναται να διαταχθεί κατά τους εξής τρόπους:

1. 80^{+050}_{-050} συμμετρική διάταξη

80^{+040}_{-060}

2. Ασύμμετρη διάταξη

80^{+060}_{-040}

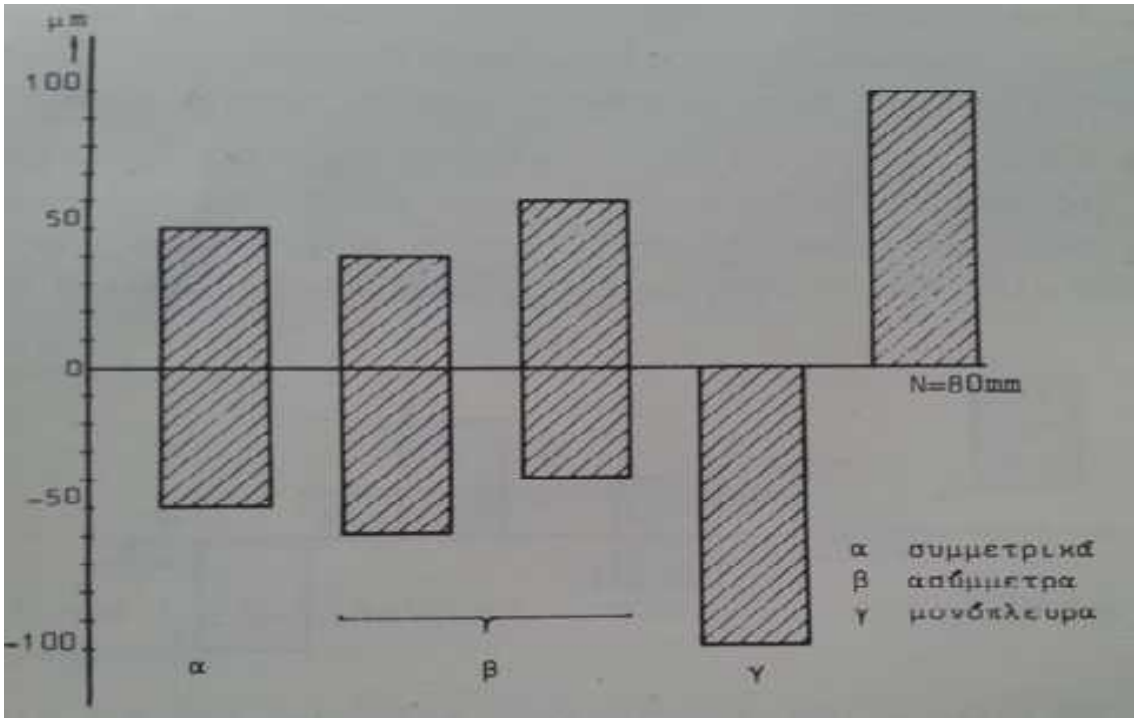
80^{+000}_{-100}

3. Μονόπλευρη διάταξη

80^{+100}_{-000}

Η γραφική απεικόνιση του πεδίου ανοχών για τις περιπτώσεις αυτές φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Τα πεδία αυτά αντιπροσωπεύουν την ίδια ανοχή για την ίδια ονομαστική διάσταση.



Εικόνα6.4.: Πεδία ανοχών διατεταγμένα ως προς την ονομαστική διάσταση

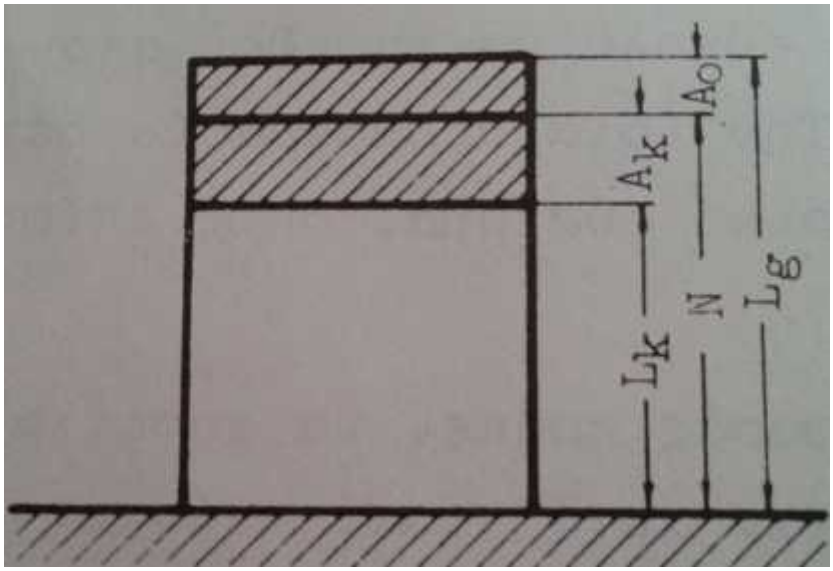
Ονομαστική απόκλιση: είναι η διαφορά μεταξύ οριακής και ονομαστικής διάστασης.

Άνω απόκλιση: καλείται η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ονομαστικής διάστασης

$$A_0 = L_g - N$$

Κάτω απόκλιση: καλείται η διαφορά μεταξύ ελάχιστης και ονομαστικής διάστασης

$$A_\kappa = L_k - N$$



Εικόνα 6.5.

Θεμελιώδης απόκλιση: από τις δύο παραπάνω αποκλίσεις, λαμβάνεται σαν θεμελιώδη απόκλιση εκείνη που η τιμή της βρίσκεται πιο κοντά στη μηδενική γραμμή.

Ανοχή συναρμογής: καλείται το άθροισμα ανοχών του άξονα και του τρήματος και δίνεται από τη σχέση:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_B$$

Χάρη (αέρας): καλείται η διαφορά των διαστάσεων τρήματος και άξονα.

Μέγιστη χάρη: ονομάζεται η διαφορά μεταξύ μεγίστου τρήματος και ελαχίστου άξονα.

$$X_{\mu} = B_{\mu} - A_{\varepsilon}$$

Ελάχιστη χάρη: ονομάζεται η διαφορά μεταξύ ελαχίστου τρήματος και μέγιστου άξονα.

$$X_{\varepsilon} = B_{\varepsilon} - A_{\mu}$$

Διάσταση κατεργασίας: Ανεξαρτήτως της θέσης της ονομαστικής διάστασης μέσα στο πεδίο ανοχών, η διάσταση που επιτυγχάνεται κατά την κατεργασία, είναι η τιμή που βρίσκεται στο μέσο του πεδίου ανοχών. Για ένα τεμάχιο με ονομαστική διάσταση 70mm και ύπαρξη ανοχής 60μ, η διάσταση κατεργασίας θα είναι ίση ή παρόμοια με τα παρακάτω παραδείγματα.

Για 70^{+30}_{-30} η διάσταση κατεργασίας θα είναι 70,000

Για 70^{+60}_{0} η διάσταση κατεργασίας θα είναι 70,030

Για 70_{-60}^{0} η διάσταση κατεργασίας θα είναι 69,970

Για 70^{+70}_{+10} η διάσταση κατεργασίας θα είναι 70,040

Για 70^{-20}_{-80} η διάσταση κατεργασίας θα είναι 69,950

Όσον αφορά τους άξονες, η διάσταση κατεργασίας επιτρέπεται να πλησιάζει προς το μέγιστο, διότι η τυχόν υπέρβασή του δεν αποτελεί πρόβλημα αλλά μια περαιτέρω κατεργασία, απλά. Όσον αφορά τα τρήματα, συμβαίνει το αντίθετο, η διάσταση επιτρέπεται να πλησιάζει προς το ελάχιστο, για τους παραπάνω λόγους.

Σύσφιξη: Η ύπαρξή της οφείλεται καθαρά στις διαστάσεις του τρήματος και του άξονα. Όταν η διάσταση του άξονα είναι μεγαλύτερη από εκείνη του τρήματος, τότε εμφανίζεται σύσφιξη μεταξύ των δύο στοιχείων, με εξίσωση γράφεται e=A-B. Με απλά λόγια σύσφιξη ονομάζεται η αρνητική χάρη. Μέγιστη σύσφιξη εμφανίζεται όταν συναρμολογηθεί μέγιστος άξονας με ελάχιστο τρήμα και ελάχιστη σύσφιξη, όταν συναρμολογηθεί ελάχιστος άξονας με μέγιστο τρήμα, δηλαδή:

$$\epsilon_\mu = A_\mu - B_\varepsilon = -X_\varepsilon$$

$$\epsilon_\varepsilon = A_\varepsilon - B_\mu = -X_\mu$$

3.3. Μαθηματικές πράξεις με ανοχές

A_0 - Ανώτερη απόκλιση **A_κ - Κατώτερη απόκλιση** **Μονάδα ανοχών = 1μm**									
Ονομαστική διάσταση		H7		H8		H9		H11	
Πάνω από	Μέχρι	A_0 +	A_κ	A_0 +	A_κ	A_0 +	A_κ	A_0 +	A_κ
Mm -	mm 3	10	0	14	0	25	0	60	0
3	6	12	0	18	0	30	0	75	0
6	10	15	0	22	0	36	0	90	0
10	18	18	0	27	0	43	0	110	0
18	30	21	0	33	0	52	0	130	0
30	50	25	0	39	0	62	0	160	0
50	80	30	0	46	0	74	0	190	0
80	120	35	0	54	0	87	0	220	0
120	180	40	0	63	0	100	0	250	0
180	250	46	0	72	0	115	0	290	0
250	315	52	0	81	0	130	0	320	0
315	400	57	0	89	0	140	0	360	0
400	500	63	0	97	0	155	0	400	0

Παράδειγμα

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, να υπολογιστεί η ανοχή 40H8 και οι οριακές διαστάσεις.

Λύση

Σύμφωνα με τον πίνακα και όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω υπολογίζεται:

$$A_0 = +46\mu m = 0{,}046mm$$

$$A_\kappa = 0\,mm$$

Επομένως, $D_g = N + A_0 = 40 + 0.046 = 40.046mm$

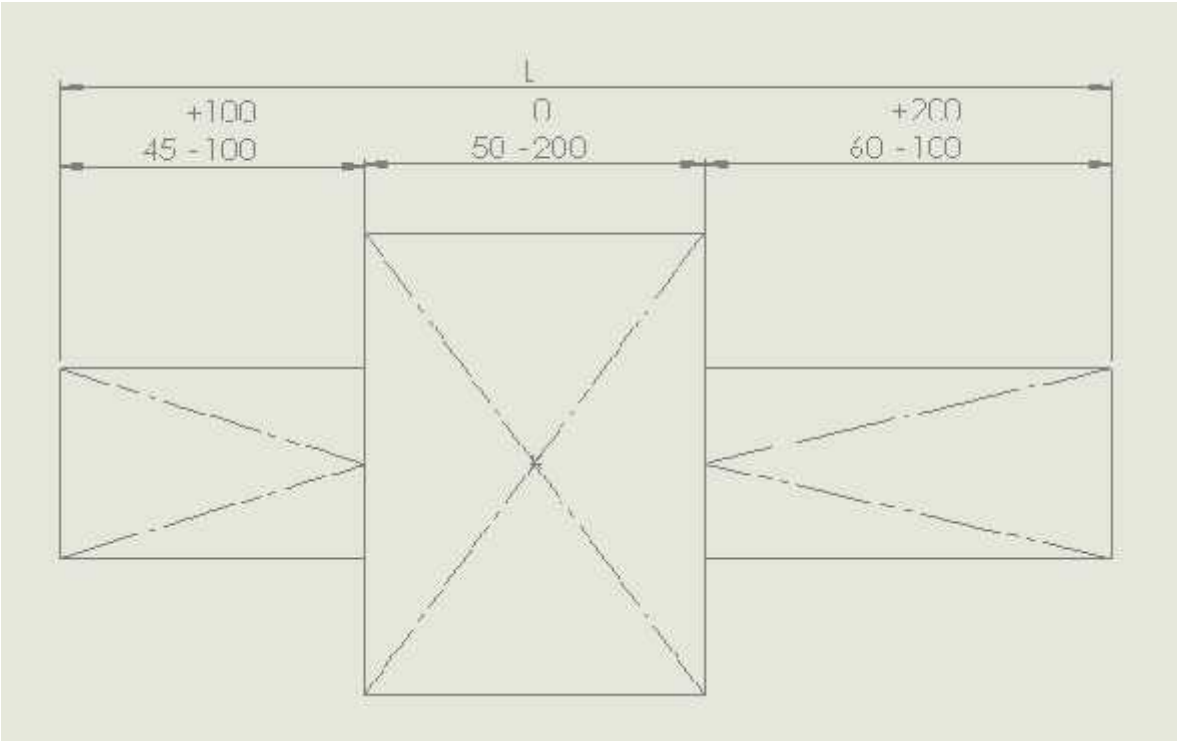
$$D_\kappa = N + A_\kappa = 40 + 0.00 = 40mm$$

$$T_b = D_g - D_\kappa = A_0 - A_\kappa = 40.046 - 40.000 = 0.046mm$$

Πρόσθεση διαστάσεων σε ένα σχέδιο με ανοχές

Παράδειγμα

Για το παρακάτω σχέδιο να υπολογιστεί το μέγεθος L και οι ανοχές του.



Λύση

Θα προστεθούν όλες οι μέγιστες ανοχές και στην συνέχεια όλες οι ελάχιστες ανοχές. Σύμφωνα με τον τύπο $T_A = A_\mu - A_\varepsilon$, θα υπολογιστεί η ανοχή. Το μήκος L θα υπολογιστεί από την διαφορά της μέγιστης δυνατής διάστασης από την ελάχιστη δυνατή διάσταση.

Επομένως,

Η ανοχή για το πρώτο σκέλος του σχήματος είναι

T=45,100-44,900=0,200mm

Η ανοχή για το δεύτερο σκέλος του σχήματος είναι

T=50,000-49,800=0,200mm

Η ανοχή για το τρίτο σκέλος του σχήματος είναι

T=50,200-59,900=0,300mm

$$L_g = 45.100 + 50.000 + 60.200 = 155.300mm$$

$$L_k = 44.900 + 49.800 + 59.900 = 154.600mm$$

$$L = L_g - L_k = 155.300 - 154.600 = 0.700mm$$

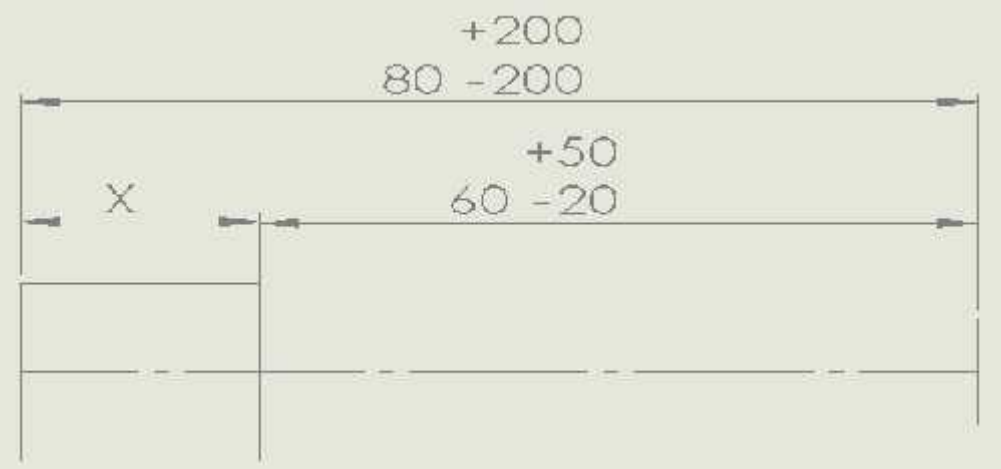
Από τις παραπάνω πράξεις βγαίνει το συμπέρασμα ότι το μήκος L έχει ονομαστική διάσταση 155mm, ανώτερη απόκλιση 300μm και κατώτερη απόκλιση 400μm.

Το αποτέλεσμα έχει την μορφή 155^{+300}_{-400}

Αφαίρεση διαστάσεων σε ένα σχέδιο με ανοχές

Παράδειγμα

Στο παρακάτω σχέδιο να υπολογιστεί το μέγεθος X και οι ανοχές του.



Λύση

Ακολουθώντας τα βήματα του προηγούμενου παραδείγματος είναι:

X_{max} = 80.200 − 59.80 = 20.220mm

X_{min} = 79.800 − 60.050 = 19.750mm

$Διάσταση$ $80^{\pm 200}$

T = 80.200 - 79.800 = 0.400mm

$Διάσταση$ 60^{+50}_{-20}

T = 60.050 – 59.980 = 0.070mm

Για την διάσταση X = 80 – 60 = 20 mm

Η ανοχή της διάστασης είναι Τα = 0.400 + 0.070 = 0.470mm

Με ανώτερη απόκλιση: X_{A_0} = + 0.200 − − 0.020 = + 0.220mm

Με κατώτερη απόκλιση: X_{A_K} = − 0.020 − + 0.50 = − 0.250mm

3.4. Είδη Συναρμογών

Οι περισσότεροι μηχανισμοί αποτελούνται από συναρμολογημένα συνεργαζόμενα εξαρτήματα, τα οποία συναρμολογούνται μεταξύ τους είτε περισσότερο είτε λιγότερο, ανάλογα του σκοπού που επιτελούν.

Οι συναρμογές διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες: ελεύθερα, ολισθήσεως, αμφιβόλου συσφίξεως και συσφίξεως.

Ελεύθερη: λέγεται μια συναρμογή όταν ο άξονας μπορεί να περιστραφεί ελεύθερα μέσα στο τρήμα. Αυτή χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι η μέγιστη και η ελάχιστη χάρη έχουν τιμές θετικές, δηλαδή σε κάθε περίπτωση το τρήμα είναι μεγαλύτερο του άξονα. Ο βαθμός ελευθερίας χαρακτηρίζεται, δηλαδή, από την ελάχιστη χάρη (X_ε)

<u>Παράδειγμα</u>:

Συναρμογή άξονα 60^{+000}_{-40} με τρήμα 60^{+80}_{+40}

Για την περίπτωση αυτή:

A_μ = 60,000mm B_μ = 60,080mm

$A_\varepsilon = 59{,}960mm$ $B_\varepsilon = 60{,}040mm$

Η μέγιστη και η ελάχιστη χάρη θα είναι :

$X_\mu = B_\mu - A_\varepsilon = 60{,}080 - 59{,}960 = 0{,}120mm$ ή 120μ

$X_\varepsilon = B_\varepsilon - A_\mu = 60{,}040 - 60{,}000 = 0{,}040mm$ ή 40μ

Η μέση χάρη είναι: $X_m = \frac{40+120}{2} = 80\mu$

3.4.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και το μέγεθος της χάρης ελεύθερων συναρμογών

Πολλοί κατασκευαστές έχουν την τάση να τοποθετούν ανοχές στα διάφορα μεγέθη έστω και μικρές. Αυτό αν δεν είναι αναγκαίο, προκαλεί μεγάλο κόστος στη μηχανική κατεργασία των στοιχείων αυτών. Το μέγεθος της ανοχής πρέπει να είναι αναγκαίο και μόνο. Η χάρη στις συναρμογές είναι συνάρτηση της ποιότητας. Δεν επιτρέπεται για μεγάλη χάρη να χρησιμοποιούνται μικρές ανοχές δηλαδή μικρές ποιότητες. Για τις συναρμογές ο μελετητής αντιμετωπίζει διαφόρους παράγοντες, οι οποίοι αλλάζουν την χάρη αυτών.

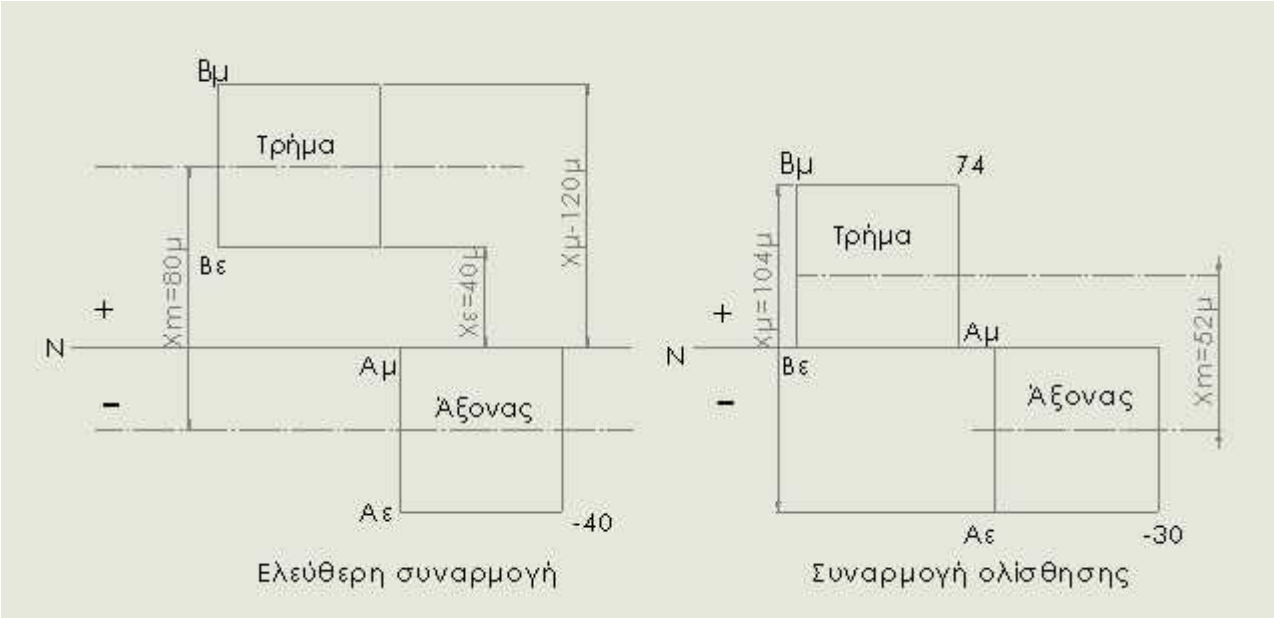
Κύριοι παράγοντες είναι:

- Η συνθήκη λειτουργίας. Η χάρη ελευθερίας είναι μεγαλύτερη σε ατράκτους που περιστρέφονται με μεγάλο αριθμό στροφών. Αυτό οφείλεται στην πάλμωση της ατράκτου και στο γεγονός ότι σε υψηλούς αριθμούς στροφών η λίπανση πρέπει να είναι εντονότερη. Αν πάλι το μήκος την συναρμογής είναι μεγάλο, πάλι η χάρη ελευθερίας είναι μεγαλύτερη λόγω σφαλμάτων μορφής.
- Η θερμοκρασία λειτουργίας της συναρμογής όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, λόγω ανομοιόμορφης διαστολής άξονα-τρήματος, ιδιαίτερα όταν δεν αποτελούνται από το ίδιο υλικό, μεταβάλλεται η χάρη. Πολλές φορές η θετική χάρη μπορεί να γίνει αρνητική, δηλαδή κόλλημα της μηχανής, όπως στα αυτοκίνητα.
- Η δυσχέρεια κατεργασίας των τρημάτων. Ως γνωστόν η κατεργασία τρήματος με μικρή ανοχή είναι από τις πιο δύσκολες μηχανουργικές κατασκευές. Για τον λόγο αυτόν, το τρήμα κατασκευάζεται κατά μια ποιότητα μεγαλύτερη σε σχέση με τον άξονα.

Για τον υπολογισμό της χάρης, λαμβάνεται υπόψη η μέση τιμή αυτής και όχι η ελάχιστη. Αυτό γίνεται επειδή ο τεχνίτης προσπαθεί κατά την τεχνική εργασία να βρίσκεται στο μέσο των ανοχών άξονα- τρήματος. Επίσης, η εξομάλυνση των ανωμαλιών άξονα-τρήματος κατά την λειτουργία τους, συνεπάγει την ενδυνάμωση της αύξησης της χάρης.

Συναρμογή ολίσθησης: Όταν το τρήμα μπορεί να ολισθαίνει κατά μήκος του άξονα ή ο άξονας να ολισθαίνει μέσα στο τρήμα, αλλά να μην έχει την δυνατότητα περιστροφής. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση της σταθερής τροχαλίας στον άξονα με την βοήθεια πάκτωσης μίας σφήνας.

Στην συναρμογή ολίσθησης το ελάχιστον της χάρης είναι πολύ μικρό ή και μηδέν (X_ε), η μέση χάρη όμως είναι θετική.



Εικόνα 6.6

Παράδειγμα

Συναρμογή άξονα 60^{+000}_{-30} με τρήμα 60^{+74}_{+0}

Για την περίπτωση αυτή:

$A_\mu = 60{,}000mm$ $B_\mu = 60{,}074mm$

$A_\varepsilon = 59{,}970mm$ $B_\varepsilon = 60{,}000mm$

Η μέγιστη και η ελάχιστη χάρη θα είναι :

$X_\mu = B_\mu - A_\varepsilon = 60{,}074 - 59{,}970 = 0{,}104mm$ ή 104μ

$X_\varepsilon = B_\varepsilon - A_\mu = 60{,}000 - 60{,}000 = 0mm$

Η μέση χάρη είναι: $X_m = \frac{0{,}000+0{,}104}{2} = 0{,}052$ ή 52μ

Αμφίβολη σύσφιξη: λέγεται η συναρμογή της οποίας το ελάχιστο της χάρης είναι αρνητικό, δηλαδή παρουσιάζεται σύσφιξη και το μέγιστο θετικό, δηλαδή παρουσιάζεται χάρη. Στην αμφίβολη σύσφιξη χαρακτηριστική είναι η μέση χάρη, από την οποία χαρακτηρίζεται κιόλας.

Παράδειγμα

Συναρμογή άξονα 30^{+35}_{+5} με τρήμα 6030^{+20}_{+0}

Για την περίπτωση αυτή:

$A_\mu = 30{,}035mm$ $B_\mu = 30{,}020mm$

$A_\varepsilon = 30{,}005mm$ $B_\varepsilon = 30{,}000mm$

Η μέγιστη και η ελάχιστη χάρη θα είναι :

$X_\mu = B_\mu - A_\varepsilon = 30{,}020 - 30{,}005 = +0{,}015$ ή 15μ

$X_\varepsilon = B_\varepsilon - A_\mu = 30{,}000 - 30{,}035 = -0{,}035$ ή 35μ ή ϵ_μ=35μ (σύσφιξη)

Η μέση χάρη είναι: $X_m = \frac{-35+15}{2} = -10\mu$

Παρατηρείται ότι το αποτέλεσμα είναι αρνητικό.

Συναρμογή σύσφιξης: καλείται η συναρμογή κατά την οποία το ελάχιστο και το μέγιστο της χάρης είναι αρνητικές τιμές. Στις συναρμογές σύσφιξης η πραγματική διάσταση του άξονα είναι πάντοτε μεγαλύτερη της πραγματικής τιμής του τρήματος. Η σύσφιξη παριστάνεται με το γράμμα *e* και είναι ίση με την αρνητική χάρη.

$$\epsilon_\mu = A_\mu - B_\varepsilon = -X_\varepsilon$$

$$\epsilon_\varepsilon = A_\varepsilon - B_\mu = -X_\mu$$

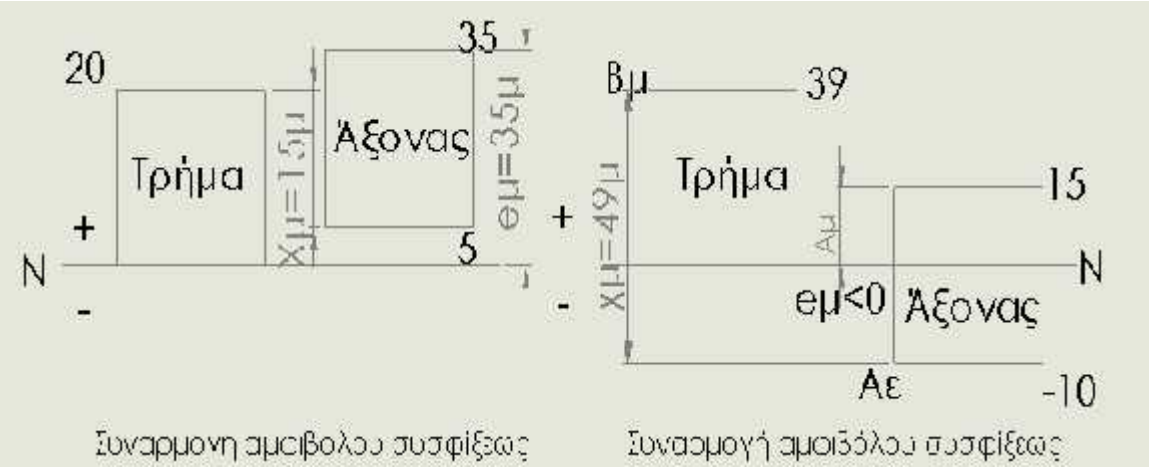
Η σύσφιξη στις συναρμογές λαμβάνεται τόσο μεγάλη ώστε όταν απενεργοποιηθούν οι δυνάμεις και οι ροπές στρέψης, να μη λύνεται η συναρμογή.

3.4.2 Τρόποι σύσφιξης

Η σύσφιξη επιτυγχάνεται ανάλογα με τη διαφορά των διαστάσεων άξονα-τρήματος και συγκεκριμένα με δύο τρόπους.

Αξονική άρμοση: Για μικρές διαφορές πιέζεται ο άξονας του οποίου το άκρο γίνεται κωνικό $\simeq$ 10˚, μέσα στο τρήμα.

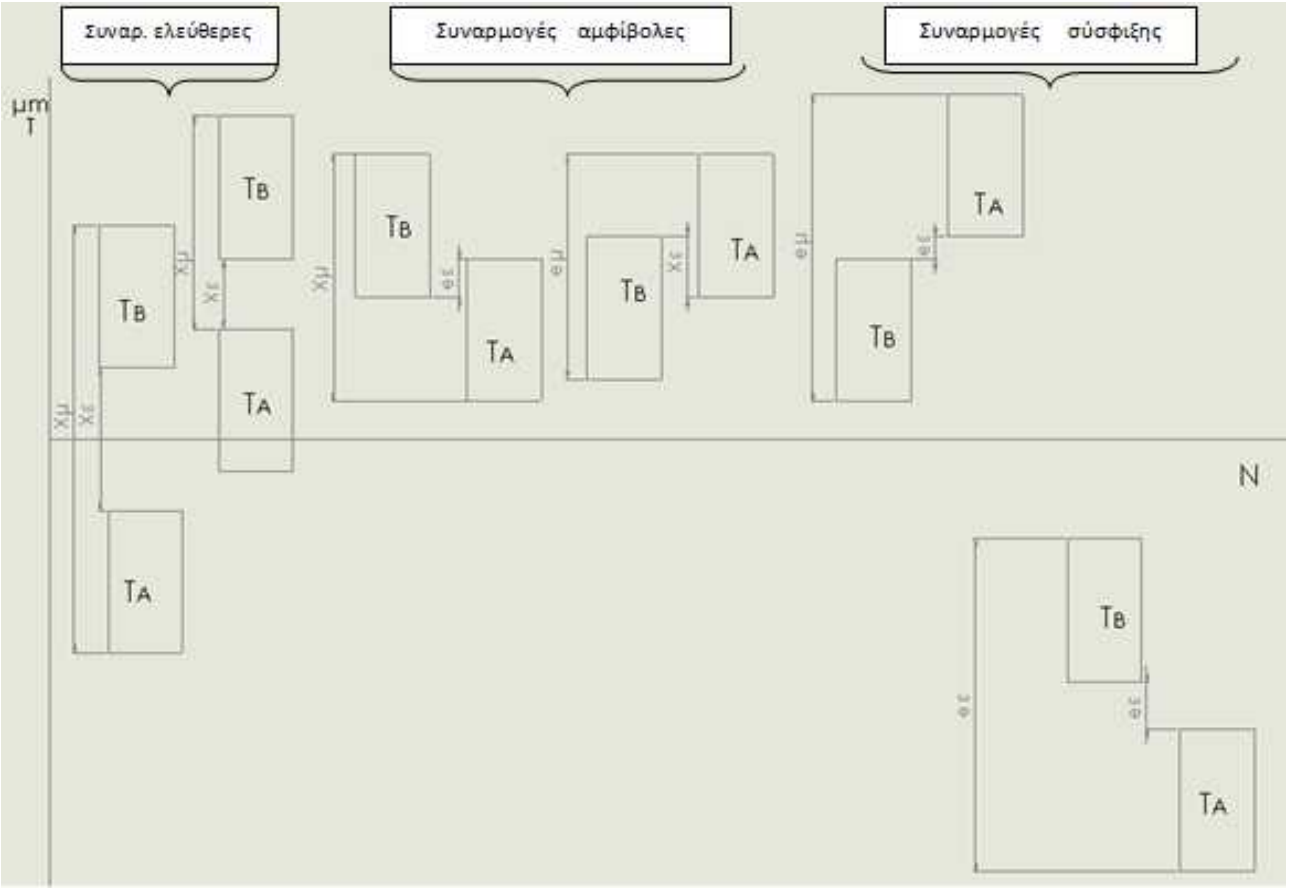
Ακτινική άρμοση: Για μεγάλες διαφορές των διαμέτρων άξονα – τρήματος, δεν είναι αποτελεσματικός αυτός ο τρόπος. Στην περίπτωση αυτή ή θερμαίνεται το τρήμα και τοποθετείται ο άξονας ελεύθερα μέσα σε αυτό, οπότε η σύσφιξη επιτυγχάνεται με συστολή του τρήματος ή ψύχεται ο άξονας, και τοποθετείται στο τρήμα, λόγω διαστολής αυτού επέρχεται η σύσφιξη.



Εικόνα 6.7

3.5. Γραφική παράσταση συναρμογών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το πεδίο ανοχής είναι η επιφάνεια η περιορισμένη από τις γραμμές της μεγαλύτερης και μικρότερης διάστασης του άξονα ή του τρήματος. Αυτή έχει σχήμα ορθογωνίου που το ύψος του παριστά το μέγεθος της ανοχής. Εκτός από αυτά δίνει και τη θέση της ανοχής ως προς την ονομαστική διάσταση. Η γραφική παράσταση των διαφόρων συναρμογών δίνεται στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 3.8.

Από το σχήμα προκύπτουν οι εξής εμπειρικοί κανόνες για την γραφική παράσταση των συναρμογών.

i) Όταν το πεδίο ανοχών του τρήματος βρίσκεται πάνω από το πεδίο ανοχών του άξονα τότε η συναρμογή λέγεται ελεύθερη.

ii) Όταν το πεδίο ανοχών του τρήματος βρίσκεται κάτω από το πεδίο ανοχών του άξονα τότε η συναρμογή λέγεται συναρμογή σύσφιξης.

iii) Όταν μέρος του πεδίου ανοχών του τρήματος είναι και μέρος του πεδίου ανοχών του άξονα, η συναρμογή λέγεται αμφίβολη.

3.6 Σύστημα ISO

Πρόκειται για διεθνή τυποποίηση, το οποίο καθιερώθηκε για να ακολουθηθεί ενιαία γραμμή στις συναρμογές που ισχύει και σήμερα.

Βασικές προϋποθέσεις του συστήματος αυτού είναι:

- Θερμοκρασία ορισμού 20° C.
- Εξάρτηση της μονάδας ανοχής από την διάμετρο, κυρίως από τη σχέση $\sqrt[3]{D}$.

- Η ονομαστική διάσταση ορίζεται σαν περιοριστική γραμμή.
- Κλιμάκωση κατά βαθμούς κατεργασίας (ποιότητες).

3.6.1. Μονάδα ανοχής

Η μονάδα ανοχής στο σύστημα I.S.O. χαρακτηρίζεται με το γράμμα *i* και συνδέεται με την διάμετρο μέσω της σχέσης:

$$i = 0.45\sqrt[3]{D} + 0.001\,D$$

Όπου D = διάμετρος σε mm

I = μονάδα ανοχών σε μm

Ο όρος 0,001 D προστίθεται ώστε σε μεγάλες διαμέτρους να αυξάνει η ανοχή για να έχουμε τον ίδιο βαθμό κατεργασίας.

3.6.2. Ποιότητα

Είναι το μέγεθος της ανοχής η οποία αντιστοιχεί στην απαιτούμενη ακρίβεια κατασκευής κατά μια συναρμογή. Στο σύστημα I.S.O. υπάρχουν συνολικά 18 ποιότητες που συμβολίζονται με αριθμούς από το 1 έως το 22, χαρακτηρίζονται επίσης και σαν I.T1 ÷I.T22 κλπ.

Τα γράμματα I.T. προέρχονται από τα αρχικά των λέξεων International Tolerance. Σαν αρχή της βάσης ήταν η ποιότητα 6 που έγινε δεκτή με ανοχή 10i. Πέρα της ποιότητας αυτής οι ανοχές ακολουθούν γεωμετρική πρόοδο με λόγο 1,6.

Για παράδειγμα I.T.7 = 1,6 I.T. 6 = 1,6*10i = 16i

Οι ανοχές των ποιοτήτων μικρότερων της 6^{ης} ποιότητας δεν ακολουθούν γεωμετρική πρόοδο.

Οι διάμετροι από 1÷500mm χωρίζονται σε 15 περιοχές. Για τον υπολογισμό της μονάδας ανοχής σε κάθε περιοχή πάρθηκε σαν διάμετρος ο μέσος γεωμετρικός όρος των δύο ακραίων διαμέτρων.

Παράδειγμα

Να καθοριστεί η ανοχή για περιοχή διαμέτρων 6 έως 10 mm για ποιότητα 6 (I.T.6).

Ο μέσος γεωμετρικός όρος είναι:

$$D_{\mu} = \sqrt{6 * 10} = \sqrt{60} = 7.75mm$$

Η μονάδα ανοχής για D=7.75 mm είναι:

$$i = 0.45\sqrt[3]{D} + 0.001D$$

$$i = 0.45\sqrt[3]{7.75} + 0.001 * 7.75 = 0.45 * 1.96 + 0.00775$$

$$i = 0.882 + 0.00775 \simeq 0.889\mu m$$

Για την ποιότητα 6, η οποία έχει 10 μονάδες ανοχών, η ανοχή θα είναι:

$$10i = 10 * 0.889 = 8.89\mu m \simeq 9\mu m$$

Τέλος, για την ίδια περιοχή διαμέτρων αλλά για ποιότητα 8 (I.T.8), η ανοχή θα είναι ίση με:

$$25i = 25 * 0.889 = 22\mu m$$

Οι ποιότητες 1÷5 χρησιμοποιούντα για την κατασκευή οργάνων μέτρησης ή ελεγκτήρων, σπανιότατα για μηχανουργικές κατασκευές, όπως εργασίες σε λειαντικά μηχανήματα και μηχανήματα κατεργασίας επιφανειών με τριβή. Σε συνηθισμένες μηχανουργικές κατασκευές χρησιμοποιούνται οι ποιότητες 7÷11, σε εξαιρετικές περιπτώσεις η ποιότητα 6. Τέλος, οι ποιότητες 12÷18 βρίσκουν χρήση σε εργασίες εξέλασης, παραμόρφωσης εν ψυχρώ και εν θερμώ.

3.6.3. Θέση ονομαστικής διάστασης – Συμβολισμοί

Στο σύστημα I.S.O. τα στοιχεία του άξονα και του τρήματος καθορίζονται χωριστά.

Στοιχεία λέγονται οι ποιότητα και η θέση του πεδίου ανοχής ως προς την ονομαστική διάσταση, δηλαδή την μηδενική γραμμή στην γραφική παράσταση.

Η θέση του πεδίου ανοχής (ποιότητα) ως προς την ονομαστική διάσταση χαρακτηρίζεται με τον όρο ***κατηγορία***. Προκειμένου να καθορίσουμε την κατηγορία, χρησιμοποιούμε για το τρήμα τα κεφαλαία γράμματα του λατινικού αλφαβήτου ενώ για τον άξονα τα αντίστοιχα μικρά. Έτσι οι οριακές διαστάσεις άξονα ή τρήματος είναι τελείως καθορισμένες παραπλεύρως της ονομαστικής διάστασης N γράφει το χαρακτηριστικό λατινικό γράμμα, το οποίο καθορίζει την κατηγορία και ο αριθμός που χαρακτηρίζει την ποιότητα.

Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός που εκφράζει την ποιότητα, τόσο μικρότερο είναι το πλάτος των ανοχών, επομένως τόσο μεγάλη και η ακρίβεια εκτελέσεως.

Οι θέσεις των πεδίων ανοχής για τα τρήματα είναι:

A ÷ G πάνω από την ονομαστική διάσταση.

H το κατώτατο όριο ανοχής εφάπτεται οπωσδήποτε της ονομαστικής διάστασης, τα πεδία δεν είναι πάνω από αυτή.

J ÷ N κοντά στην ονομαστική διάσταση.

R ÷ Z κάτω από την ονομαστική διάσταση.

Για τους άξονες είναι:

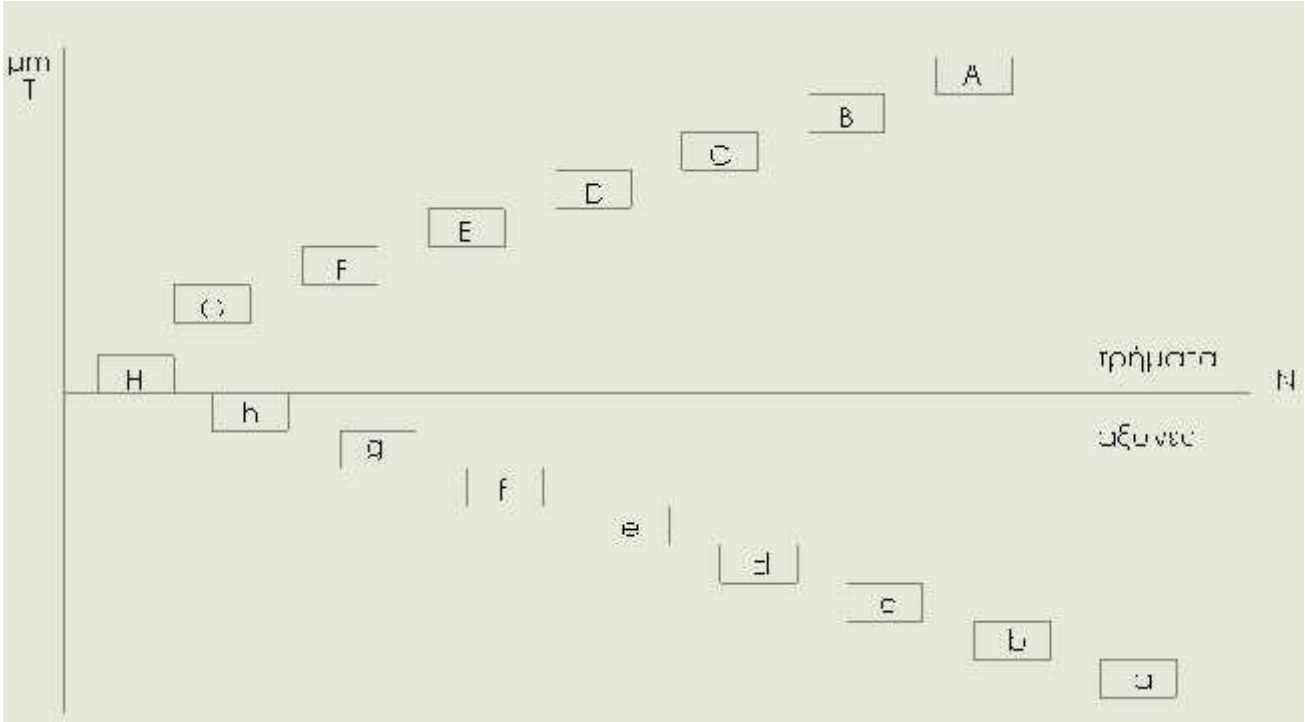
a ÷ g κάτω από την ονομαστική διάσταση.

h το ένα όριο εφάπτεται οπωσδήποτε της ονομαστικής διάστασης, το πεδίο όμως είναι κάτω από αυτή.

j ÷ n γύρω από την ονομαστική διάσταση.

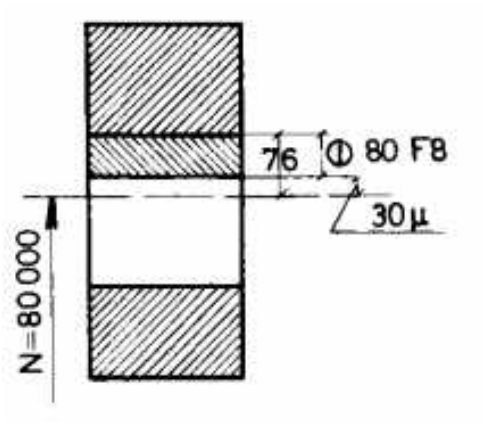
p ÷ z πάνω από την ονομαστική διάσταση.

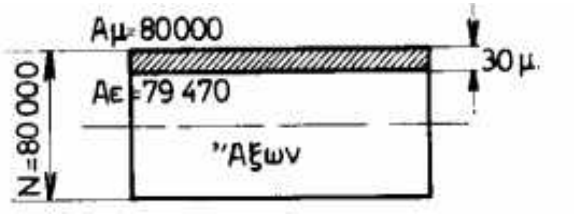
Τα γράμματα I, L, O, Q και W και τα αντίστοιχα μικρά I, l, o, q και w, δεν χρησιμοποιούνται για να μην υπάρχει περίπτωση παραλλαγής με όμοιους αριθμούς. Το w δε συμπεριλαμβάνεται για τον λόγο ότι δεν περιέχεται στο λατινικό αλφάβητο.



<u>Παράδειγμα</u>

Έχοντας σαν ονομαστική εσωτερική διάσταση 80mm, ποιότητας 8 και κατηγορίας (F), γράφεται 80F8 και η ανοχή της κατά τον πίνακα είναι 46μ, ενώ η 80F7έχει ανοχή 30μ, συμπεραίνοντας από τους παρακάτω πίνακες.





Στην περίπτωση συναρμογής άξονα – τρήματος δίνεται υπό τη μορφή κλάσματος, του οποίου ο αριθμητής αναγράφονται τα στοιχεία του τρήματος και του παρονομαστή τα στοιχεία του άξονα.

Γενικά είναι δυνατός οποιοσδήποτε συνδυασμός τρήματος – άξονα, οποιονδήποτε κατηγοριών, όμως αυτό θα ήταν πολύπλοκο σύστημα για τον καθορισμό του είδους της συναρμογής. Για το παραπάνω αίτιο, στο σύστημα I.S.O. παίρνονται τα τρήματα της κατηγορίας Η όταν ο άξονας κατεργάζεται σε μία από τις υπόλοιπες κατηγορίες και αντιστρόφως, λαμβάνονται οι άξονες h όταν τα τρήματα εντάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες, ώστε να προκύψει η επιθυμητή συναρμογή. Δηλαδή εργαζόμαστε είτε στο σύστημα βασικού τρήματος είτε στο σύστημα βασικού άξονα.

Παράδειγμα

Δίνεται ο συμβολισμός $42^{\Phi}\frac{G6}{h5}$, ποια η σημασιολογία του;

Ο συμβολισμός αυτός σημαίνει κατά το σύστημα I.S.O.

a. Συναρμογή άξονα-τρήματος ονομαστικής διαμέτρου 42mm
b. Αναφέρεται στο σύστημα του βασικού άξονα
c. Κατηγορία τρήματος G.
d. Ποιότητα τρήματος 6.
e. Κατηγορία άξονα h
f. Ποιότητα άξονα 5.
g. Πρόκειται για ελεύθερη συναρμογή γιατί το πεδίο ανοχών του τρήματος βρίσκεται πάνω από το πεδίο ανοχών του άξονα.

Από τους πίνακες παίρνουμε:

Για το τρήμα $42^{\varphi}G6$ $42^{\Phi^{+025}_{-009}}$

Για τον άξονα 42^{φ} 5 42^{0}_{-013}

Άρα θα έχουμε:

$$B_{\mu} = 42{,}025mm \qquad A_{\mu} = 42{,}000mm$$

$$B_{\varepsilon} = 42{,}009mm \qquad A_{\varepsilon} = 41{,}987mm$$

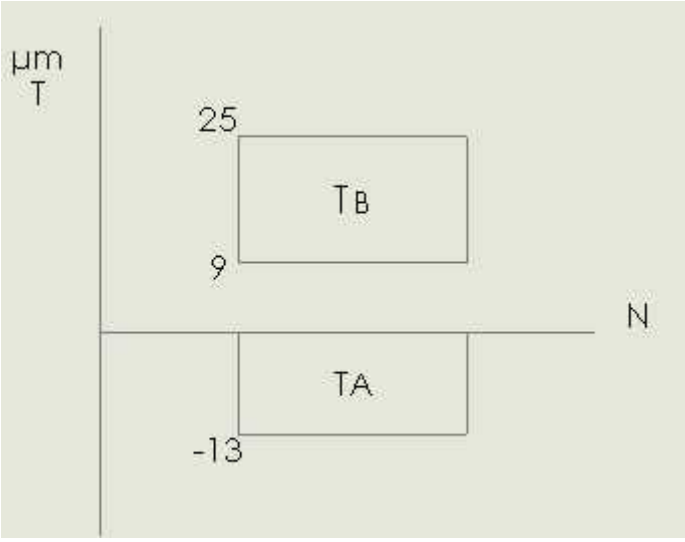
Επομένως, η μέγιστη χάρη και η ελάχιστη θα είναι:

$$X_{\mu} = B_{\mu} - A_{\varepsilon} = 42{,}025 - 41{,}987 = 0{,}038mm$$

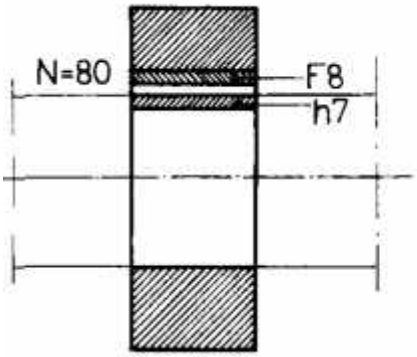
$$X_{\varepsilon} = B_{\varepsilon} - A_{\mu} = 42{,}009 - 42{,}000 = 0{,}009mm$$

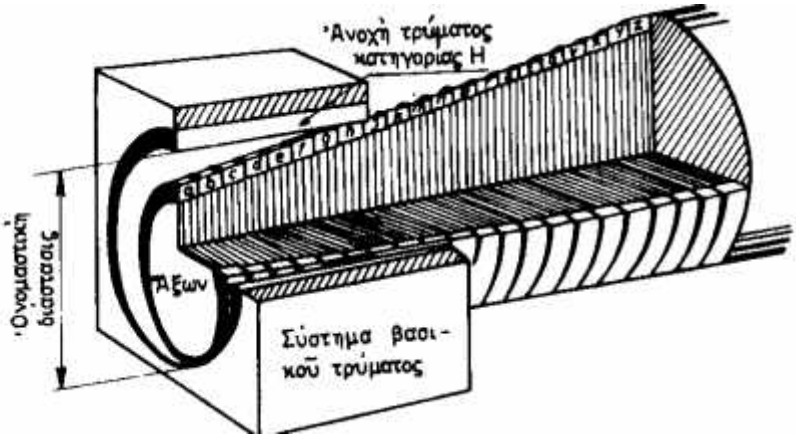
Πρόκειται πράγματι για ελεύθερη συναρμογή.

Γραφικά η συναρμογή η οποία παριστάνεται από το συμβολισμό αυτό είναι:

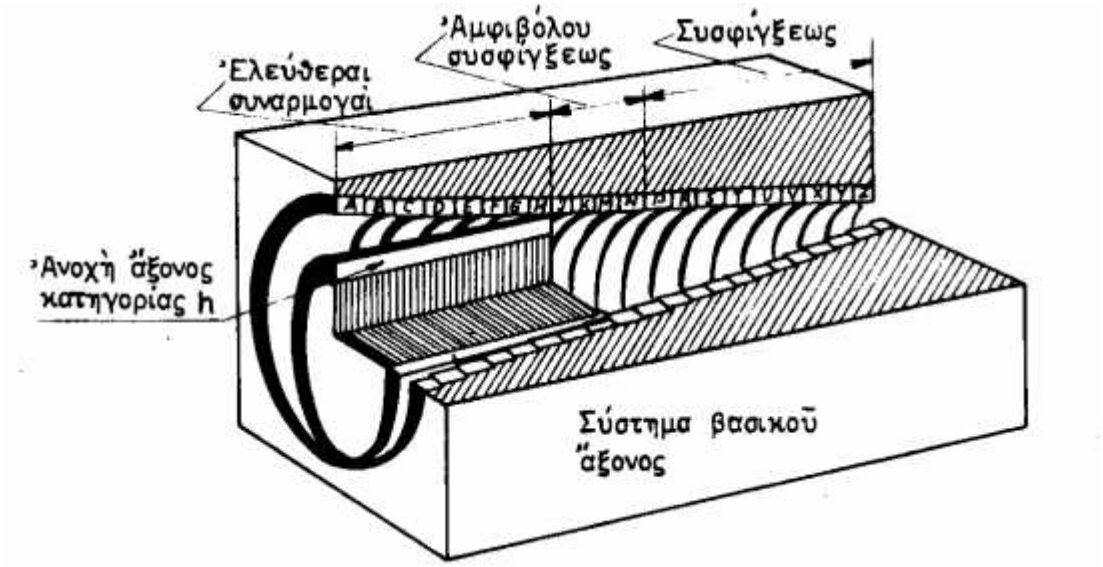


Οι παρακάτω εικόνες βοηθούν στην αποσαφήνιση των παραπάνω





Όπου στην συγκεκριμένη εικόνα αναφέρεται σε συναρμογή βασικού τρήματος, όπως αναφέρθηκε, το τρήμα παραμένει σταθερό και μεταβάλλεται ανάλογα ο άξονας προς τη συναρμογή που επιθυμείται να επιτευχθεί. Παρατηρείται ότι από το γράμμα (α) έως το (h), οι συναρμογές βρίσκονται σε χάρη και από το (h) έως το (z) βρίσκονται οι συναρμογές σε σύσφιξη. Στο σημείο (h) και (H) το (B_ε) συμπίπτει με το (A_μ), οπότε υπάρχει συναρμογή ολισθήσεως, όπου το X_ε = 0 και X_μ = $\theta\varepsilon\tau\iota\kappa\acute{o}$.



Στο παραπάνω σχήμα αναφέρεται σε συναρμογή βασικού άξονα, όπου ο άξονας μένει σταθερός και μεταβάλλεται το τρήμα ανάλογα με την επιθυμητή συναρμογή που πρέπει να επιτευχθεί. Όπως φαίνεται από το γράμμα (A) έως το (H) περιλαμβάνονται οι συναρμογές με χάρη, από το (H) έως το (Z) οι συναρμογές με σύσφιξη. Στο σημείο (H) και (h) συμπίπτει το (A_μ) με το (B_ε), οπότε είναι συναρμογή ολίσθησης, όπου το X_ε = 0 και X_μ = $\theta\varepsilon\tau\iota\kappa\acute{o}$.

Επομένως και στις δύο περιπτώσεις το σημείο (H) και (h) είναι η διαχωριστική γραμμή μεταξύ της έννοιας χάρη και σύσφιξη.

3.6.4. Ελεγκτήρες οριακών διαστάσεων (περνά δεν περνά)

Στο κεφάλαιο των ανοχών αναφέρθηκε ότι κύριος λόγος τυποποίησης των κατάλληλων για κάθε κομμάτι διαστάσεων, ήταν η εξασφάλιση της εναλλακτικότητας. Σε αρκετές περιπτώσεις αρκεί να

ελεγχθούν εάν οι διαστάσεις του παραγόμενου τεμαχίου είναι εντός των ορίων των ανοχών. Στην περίπτωση αυτή, δεν ελέγχεται η ακριβή διάσταση αλλά τα όρια της διάστασης. Τα όργανα αυτά ονομάζονται ***ελεγκτήρες ορίου ή οριακοί ελεγκτήρες ή ελεγκτήρες μεγίστου-ελαχίστου***. Το τεμάχιο που θα υποστεί τον έλεγχο θα πρέπει σαφώς να μην διαθέτει εσοχές ή προεξοχές ή κάποιο άλλο σφάλμα γεωμετρικής μορφής αλλά να έχει την κανονική διάσταση σε όλο το μήκος του ώστε από την μία διάμετρο του ελεγκτήρα να είναι αποδεκτό ενώ από την άλλη μη αποδεκτό.

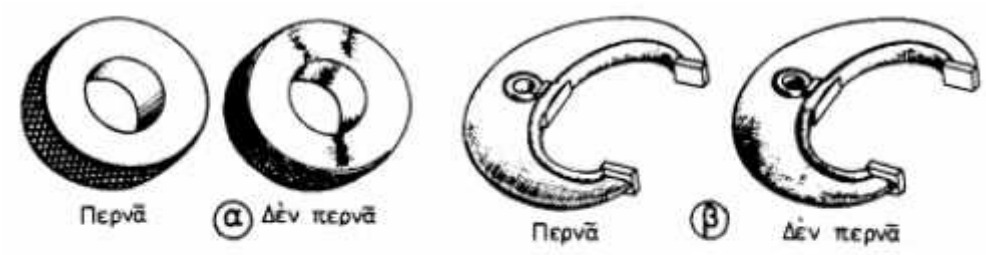
Οι ελεγκτήρες διαστάσεων διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Τους σταθερούς και τους ρυθμιζόμενους ελεγκτήρες(παχύμετρα, μικρόμετρα, κλπ). Η πρώτη κατηγορία είναι καταλληλότερη σε σύγκριση με την δεύτερη κατηγορία όπου τα όργανα μπορούν αν εμφανίσουν σφάλμα. Η χρήση των σταθερών ελεγκτήρων είναι πολύ απλή ακόμα και από ένα ανειδίκευτο άτομο. Γενικά χωρίζονται σε γενικούς και σε ειδικούς.

Οι ελεγκτήρες γενικής χρήσεως διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

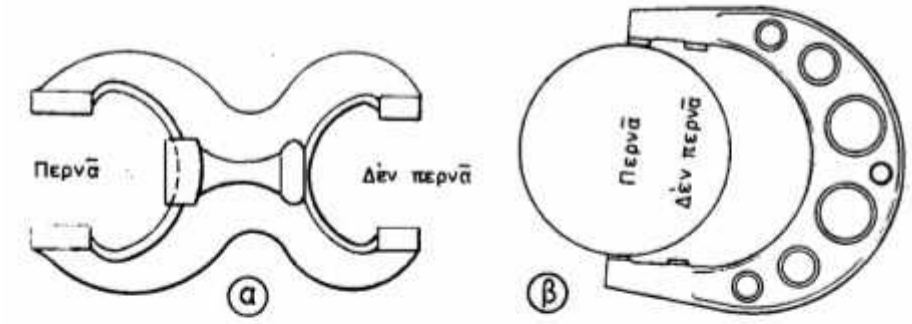
- Ελεγκτήρες αξόνων.
- Ελεγκτήρας τρυμάτων.
- Πεταλοειδής ελεγκτήρας αξόνων με μονό ή διπλά ράμφη.

Κατηγορίες γενικών ελεγκτήρων

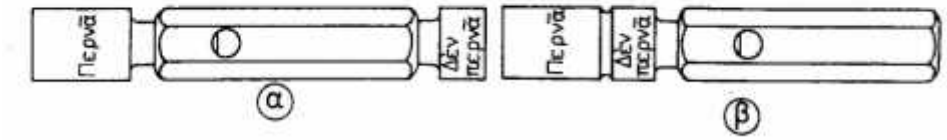
Για τον έλεγχο ανοχών σε άξονες χρησιμοποιούνται οι ελεγκτήρες δακτυλίδια ή οι ελεγκτήρες σε σχήμα πετάλου σε ζευγάρια. Μεγαλύτερης ευκολίας είναι ο ελεγκτήρας διπλού πετάλου ή μονό με πέταλο με δύο επαφείς.



Ελεγκτήρες: (α) Δακτυλίδια. (β) Σε σχήμα πετάλου



Ελεγκτήρες: (α) Σε σχήμα διπλού πετάλου. (β) με διπλό επαφέα.



Κυλινδρικοί ελεγκτήρες ελέγχου τρυμάτων

Οι ελεγκτήρες καλούνται συχνά και ως ελεγκτήρες μεγίστου – ελαχίστου, αφού είναι έτσι κατασκευασμένοι ώστε αξιοποιώντας τους να ελέγχονται τα δύο όρια ενός κομματιού.

Καλώντας έναν τεχνίτη να κατασκευάσει έναν άξονα διαμέτρου 50mm, με όριο ανοχών $50^{-0,025mm}_{-0,050mm}$, θα πρέπει να ελέγξει την ακρίβεια του τεμαχίου. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με την βοήθεια ενός ελεγκτήρα. Η διάμετρος του άξονα κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 49,975mm (μέγιστο) και 49,950mm(ελάχιστο). Η καταλληλότητα του τεμαχίου εκτιμάται με την χρησιμοποίηση ενός ελεγκτήρα σε σχήμα πετάλου, του οποίου το άνοιγμα κάθε πετάλου είναι καθορισμένο. Αν ο άξονας περνά από το ένα άκρο, το μεγαλύτερο και δεν περνά από το μικρότερο άνοιγμα, σημαίνει ότι ο άξονας είναι κατάλληλος.

Επομένως, το μεγαλύτερο άνοιγμα του πετάλου είναι η υποδοχή που μπορεί να περνάει ο άξονας και για αυτόν τον λόγο ονομάζεται «περνά» και δίνει την μέγιστη διάσταση (Αμ, ανώτατο όριο ανοχής) που μπορεί να πάρει ένα κομμάτι. Το μικρότερο άνοιγμα είναι εκείνο που δεν πρέπει να περνάει το κομμάτι για κανένα λόγο και για αυτό ονομάζεται «δεν περνά» και δίνει την ελάχιστη διάσταση (Αε).

Ομοίως, εκτιμάται και η διάσταση ενός τρήματος. Στον έλεγχο τρημάτων(θηλυκών κομματιών) χρησιμοποιούνται αρσενικούς ελεγκτήρες(κυλινδρικούς). Τα άκρα των κυλινδρικών ελεγκτήρων είναι διαμορφωμένα έτσι ώστε το ένα από αυτά να δίνει όριο «περνά» (δηλαδή την ελάχιστη επιτρεπόμενη διάσταση Βε) και το άλλο το όριο «δεν περνά» (δηλαδή την μέγιστη επιτρεπόμενη διάσταση (Βμ)).

Η χρησιμότητα των ελεγκτήρων γίνεται κατανοητή από το παρακάτω παράδειγμα.

3.6.4.1. Κατασκευή ελεγκτήρων

Οι ελεγκτήρες κατασκευάζονται από διάφορα υλικά. Λαμβάνοντας υπόψη οι κατασκευαστές ότι σκοπός ύπαρξης τους είναι ο έλεγχος διαστάσεων πολλών αντικειμένων, κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής αντοχής στην φθορά από τριβή. Ο χάλυβας αυτός, σκληρύνεται, υφίσταται τεχνητή γήρανση και στη συνέχεια κατεργάζεται με τροχό ή άλλο εργαλείο. Στη συνέχεια υφίσταται και άλλες θερμικές κατεργασίες όπως βαφή και επαναφορά ή ενανθράκωση και διπλή βαφή. Η κατεργασία σταθεροποιήσεως διαρκεί 150 ώρες στους 150° C για να φτάσει στις τελικές του διαστάσεις με λείανση.

Οι ανοχές της κατασκευής των ελεγκτήρων είναι το 1/10 περίπου των ανοχών των τεμαχίων που θα ελέγξουν.

Το μειονέκτημα τους είναι το μεγάλο συνολικό κόστος, γιατί σα σταθεροί που είναι θα πρέπει το κάθε εργοστάσιο να διαθέτει και από έναν ελεγκτήρα για κάθε διάσταση που διαθέτει. Για τον λόγο αυτό, πολλά εργοστάσια αντί να προμηθευτούν τους ελεγκτήρες από ειδικά εργοστάσια, επιχειρούν να τους κατασκευάσει μόνο του με αποτέλεσμα τις περισσότερες φορές να μην πετυχαίνουν τις απαιτούμενες ανοχές των ελεγκτήρων. Οπότε, δεν επιφέρει κέρδη στο εργοστάσιο αυτή η στρατηγική, αντιθέτως, δύναται να συμβεί είτε παραδοχή τεμαχίων εκτός ανοχών είτε αδικαιολόγητη απόρριψη των τεμαχίων.

Σε οποιονδήποτε ελεγκτήρα αναγράφεται πάνω του:

- Η ονομαστική διάσταση που ελέγχει.
- Η κατηγορία συναρμογής.
- Η ποιότητα συναρμογής.
- Οι οριακές τιμές της ανοχής σε μ.
- Πιθανόν τις λέξεις «περνά» και «δεν περνά»

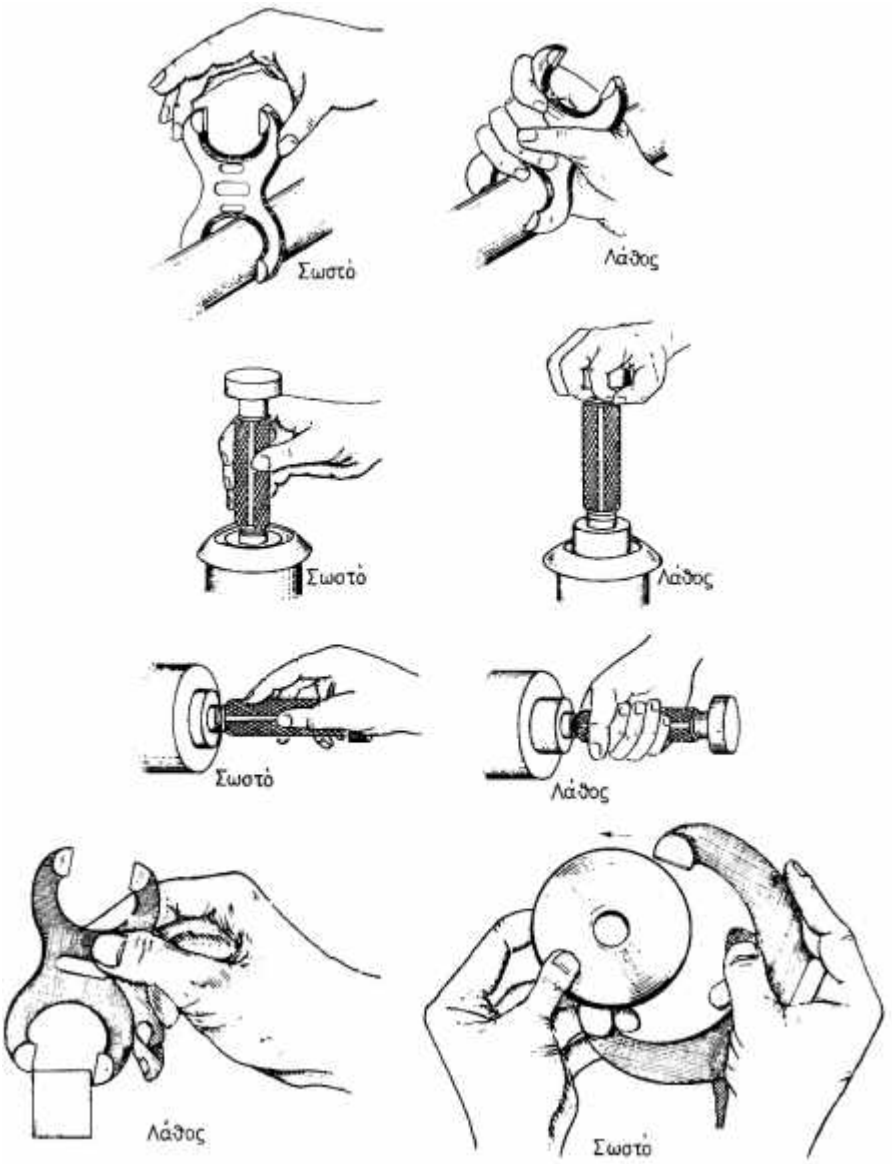
3.6.4.2. Σημεία προσοχής κατά την χρήση ελεγκτήρων

Η χρήση των ελεγκτήρων είναι εύκολη από έναν έμπειρο τεχνίτη, όμως από έναν άπειρο τεχνίτη ή μη μπορεί αβίαστα να γίνουν σφάλματα. Ο χειρισμός του οργάνου πρέπει να είναι λεπτοί και προσεκτικοί. Στους μηχανουργικούς ελέγχους απαγορεύεται ρητώς οποιαδήποτε άσκηση δύναμης ή κρούσης στον ελεγκτήρα.

Στην υποδοχή του «περνά» του ελεγκτήρα, εισέρχονται τεμάχια με το ίσιο ή μικρότερο μέγεθος και όσα χαρακτηρίζονται από το ίδιο βάρος ή μικρότερο. Τα τεμάχια με μεγαλύτερο βάρος από τον ελεγκτήρα θα πρέπει να υποβαστάζονται από τον τεχνίτη. Στην υποδοχή « δεν περνά» του ελεγκτήρα, η πίεση που θα ασκηθεί δεν έχει πολλή σημασία, διότι δεν υπάρχει περίπτωση να εισαχθεί βίαια το τεμάχιο από την υποδοχή.

Τα σημεία προσοχής κατά την χρήση ενός ελεγκτήρα είναι τα παρακάτω:

- Η διατομή μίας κυλινδρικής επιφάνειας πρέπει να ελέγχεται σποραδικά σε τρία σημεία το λιγότερο.
- Σε επιμήκη τεμάχια ο έλεγχος να γίνεται σε περισσότερα από ένα σημεία, ομοίως.
- Κατά τον έλεγχο ενός τεμαχίου, η τοποθέτηση του ελεγκτήρα δεν πρέπει να έχει κλίση αλλά να είναι κάθετο στο αντικείμενο.
- Σε κυλινδρικά τεμάχια, συνετό είναι η τοποθέτηση του αντικειμένου να έρχεται πρώτα σε επαφή η μία πλευρά και έπειτα η άλλη.



3.6.4.3. Συντήρηση ελεγκτήρων – Αντελεγκτήρες

Οι ελεγκτήρες χρήζουν προσεκτική φροντίδα. Κάθε σειρά ελεγκτήρων ξεχωριστά θα πρέπει να διαθέτει ξύλινη ατομική θήκη, όπου θα τοποθετούνται οι ελεγκτήρες έπειτα από κάθε χρήση. Πρωτίστως, επιβάλλεται ο προσεκτικός καθαρισμός και η επικάλυψη τους με ένα ελαφρύ στρώμα λίπους (βαζελίνη) δίχως οξύτητα. Πολλές φορές επικαλύπτεται με ένα στρώμα μετάλλου, ανθεκτικό στις οξειδώσεις(νικελίου -χρωμίου). Ο έλεγχος τους γίνεται περιοδικά, ανεξαιρέτως την χρήση τους, με αντελεγκτήρα ή με πρότυπα βιομηχανικά μήκη ή με όργανα σύγκρισης.

Με την βοήθεια των αντελεγκτήρων γίνεται ο περιοδικός έλεγχος των ελεγκτηρίων. σύμφωνα με το σύστημα ISO, προβλέπονται μόνο αντελεγκτήρες για τον έλεγχο αξόνων. Ο έλεγχος των τρυμάτων προτιμάται να γίνεται μέσω των μηχανημάτων συγκρίσεως μηκών. Οι ανοχές κατασκευής των αντελεγκτήρων είναι πολύ μικρότερες από τις ανοχές των ελεγκτήρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΤΥΠΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΗΚΗ

4.1. Γενικά

Ο έλεγχος ακριβείας ενδείξεως των διαφόρων οργάνων μέτρησης για την εξακρίβωση της αξιοπιστίας και της καταλληλότητας χρήσης τους, πραγματοποιείται συνήθως με τη βοήθεια προτύπων βιομηχανικών μήκων. Με τον συνδυασμό τους μπορεί να παρθεί η μέτρηση οποιασδήποτε διάστασης. Κατά κάποιον τρόπο κατέχουν την έννοια του γνήσιου μήκους, δηλαδή με αμελητέο σφάλμα. Ανάλογα με τον ειδικό σκοπό που προορίζονται διακρίνονται :

- Σε πρότυπους δίσκους
- Σε πρότυπα πλακίδια
- Σε πρότυπους δακτυλίους κτλ.

Το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένα τα πρότυπα μετρητικά όργανα, έχει σαν κύριες ιδιότητες την αντοχή ενάντια στην φθορά και η σταθερότητα τους. Με τις σύγχρονες μεθόδου θερμικής κατεργασίας, μπορούν να προσφέρουν μεγάλη σταθερότητα. Μία τέτοια μέθοδος είναι η κατάψυξη σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, εφαρμόζοντας την με σύνεση σε επιλεκτικές βαθμίδες χάλυβα. Επιπρόσθετα, με την πρόοδο της τεχνολογίας, έχει παρατηρηθεί ότι στις διάφορες κατηγορίες χάλυβα που έχει επιλεγεί για την παραγωγή πρότυπων οργάνων, εάν αναμιχτεί με διάφορα συστατικά, η αντοχή ενάντια στην φθορά, βελτιώνεται αισθητά με αποτέλεσμα την παρατείνασα διάρκεια ζωής.

Στην πλειοψηφία τα κομμάτια πρότυπων οργάνων που κατασκευάζονται από χάλυβα και από τα κράματα χάλυβα, έχουν δείξει ότι είναι ικανότατα, όμως υπάρχουν κάποιες εφαρμογές, οι οποίες ζητούν μεγαλύτερη εγγύηση για την ανθεκτικότητα του υλικού ως προς την φθορά. Τέτοιες περιπτώσεις είναι για όργανα που χρησιμοποιούνται για την περαιτέρω διαδικασία ελέγχου διαστάσεων με απαιτήσεις πολύ περιορισμένες ανοχές ή για διάφορα μετρητικά μέλη που έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες λόγω της λείανσης που έχουν υποστεί.

Στο εμπόριο προσφέρονται συνήθως χαλύβδινα πρότυπα βιομηχανικά μήκη, με συντελεστή διαστολής $\alpha=(11,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-6}/ {}^{\circ}C$ στα οποία έγινε τεχνική γήρανσης.

Το σχήμα τους είναι ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με διαστάσεις :

30 x 9 για ονομαστική τιμή ως 10 mm

35 x 9 για ονομαστική τιμή μεγαλύτερη των 10 mm.

4.2. Υλικά κατασκευής πρότυπων βιομηχανικών μήκων

Εκτός από τον χάλυβα και τις μεθόδους του, τα μετρητικά όργανα κατασκευάζονται και από άλλα υλικά όπως :

Α. Ο γαλβανισμός με χρώμιο την αντοχή στη φθορά ελαχιστοποιώντας τις τριβές και συμβάλλει θετικά στη λειτουργία μέτρησης. Στα πλαίσια της διαδικασίας ανακύκλωσης, η επιχρωμίωση εφαρμόζεται στην ανάκτηση των πραγματικών τους μεγέθους, οργάνων που έχουν αλλοιωθεί κατά την χρήση ή με το πέρασμα του χρόνου.

Β. Ο γαλβανισμός εν θερμώ με καρβίδιο του βολφραμίου. Με την διαδικασία αυτήν, δημιουργείται μια επιπλέον στρώση στο υλικό λίγων ιντσών που συμβάλλει στην μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του οργάνου. Ο θερμικός συντελεστής διαφέρει σε σύγκριση με το χάλυβα και γι ’αυτό είναι απαραίτητο ένα ελεγχόμενο θερμοκρασιακό περιβάλλον κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Γ. Τα κεραμικά έχουν θερμοδιαστολή όμοια με αυτή του χάλυβα και διαθέτουν τον μεγαλύτερο βαθμό αντοχής. Δεν απαιτείται ιδιαίτερη φροντίδα όμως σαν μειονέκτημα τους, θεωρείται το ότι είναι εύθραυστα.

Οι επιφάνειες των πρότυπων μηκών έχουν λειανθεί και στιλβωθεί, ώστε αν έρθουν σε επαφή δύο επιφάνειες διαφορετικών πλακιδίων, η πρόσφυση μεταξύ τους να είναι πολύ καλή.

Σπουδαίο κριτήριο για την ποιότητα ενός προτύπου βιομηχανικού μήκους είναι το λάθος f_b. Η διάσταση μεταξύ των δύο παράλληλων πλευρών του πλακιδίου πρέπει να είναι ίση με την ονομαστική τιμή της. Αν οι δύο αυτές πλευρές δεν είναι επίπεδες ή παράλληλες τότε η απόστασή τους σε διάφορα σημεία διαφέρει από την ονομαστική τιμή της. Έχουμε δηλαδή ένα λάθος f_b, το οποίο όμως δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερο από μία επιτρεπόμενη τιμή.

4.3. Ποιότητες πρότυπων βιομηχανικών μηκών

Η πιο διαδεδομένη μορφή πρότυπων βιομηχανικών μηκών του μετρητικού συστήματος είναι τα πλακίδια, τα οποία κατασκευάζονται με την μορφή ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου. Χρησιμοποιούνται ευρέως στην αμερικάνικη κατασκευή ύστερα από την πρόσφατη συμφωνία μετάβασής της στο μετρητικό σύστημα. Οι ανοχές και οι προδιαγραφές των πλακιδίων του αμερικάνικου συστήματος συμφωνούν με εκείνο του αγγλοσαξονικού.

Τα πρότυπα βιομηχανικά μήκη κατασκευάζονται σύμφωνα με το ANSI B89.1.9 M-1984 (R1989) και των Ομοσπονδιακών Προδιαγραφών GGG-G-15C. Καθορίζονται οι εξής ποιότητες:

Ποιότητα 00 : Παράγεται τις τελευταίες δεκαετίες. Η ποιότητα αυτή είναι υψίστης ακριβείας και δεν διατίθεται στο εμπόριο, όμως μπορεί κανείς να την προμηθευτεί από τον κατασκευή ύστερα από παραγγελία.

Ποιότητα 0 : Για μετρήσεις μέγιστης ακρίβειας όπως π.χ. ο έλεγχος φθοράς προτύπων βιομηχανικών μηκών κατώτερης ποιότητας. Φυλάγονται μέσα στον χώρο μετρήσεων και μετά από ορισμένη χρήση στέλνονται στον κατασκευαστή τους για έλεγχο.

Ποιότητα I : Για μετρήσεις με πολύ μικρή ανοχή, έλεγχο μετρητικών οργάνων κ.τ.λ. Η χρήση τους γίνεται μέσα στον χώρο μετρήσεων.

Ποιότητα II : Για έλεγχο ιδιοσυσκευών, εργαλειομηχανών, ελεγκτήρων, κ.τ.λ.

Ποιότητα III : Για μετρήσεις έξω από τον χώρο μετρήσεων, με την προϋπόθεση ότι δεν έχουν μικρές ανοχές οι μετρούμενες διαστάσεις.

4.3.1. Από τι εξαρτάται η ποιότητα των πλακιδίων

Η ποιότητα των πλακιδίων εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Από την ακρίβεια της κύριας διάστασης, δηλαδή της διάστασης η οποία αναγράφεται επάνω στο πρότυπο βιομηχανικό μήκος.
- Από την ακρίβεια της παραλληλότητας των κύριων επιφανειών. Κύριες επιφάνειες είναι εκείνες που η απόστασή τους είναι και η αναγραφόμενη διάσταση στο πλακίδιο.
- Από τον βαθμό λείανσης
- Από το υλικό που κατασκευάστηκαν.

Ποιότητα	$f_{\beta\epsilon\pi}$ $\alpha + b \cdot l$
00	±(0.00005 + 0.000001 l_0)
0	± (0.0001 + 0.000002 l_0)
I	± (0.0002 + 0.000005 l_0)
II	± (0.0005 + 0.00001 l_0)
III	± (0.001 + 0.00002 l_0)

Πίνακας 3.1: Επιτρεπτά λάθη για διάφορες ποιότητες βιομηχανικών προτύπων
l_0 : ονομαστικό μήκος σε mm

4.4. Λείανση επιφανειών πρότυπων πλακιδίων

Το τελικό στάδιο της μορφοποίησης των πλακιδίων είναι η λείανση. Στο συγκεκριμένο στάδιο γίνονται οι τελευταίες βελτιώσεις που μπορεί να υποστούν τα πλακίδια πριν την τελική τους μορφή. Ο ρόλος της λείανσης είναι σωστή διαμόρφωση του πλακιδίου, που συνεπάγει την ομαλότητα των επιφανειών και η παραλληλότητά τους, την υφή των επιφανειών που συναρμολογούνται και το τελικό μήκος τους.

Η διαδικασία της λείανσης αποτελείται από τρία στάδια, τα οποία είναι το ξεχόνδρισμα, η πρώιμη κατεργασία και η κατεργασία τελειοποίησης. Μόνο 20 χιλιοστά της ίντσας μένει για το τελικό στάδιο, αφού τα παραπάνω τρία στάδια καταναλώνουν 60%,36% και 4% υλικό, αντίστοιχα. Η τελική λείανση γίνεται με την βοήθεια λειαντικών δίσκων, φτιαγμένοι από εξαιρετικά αιχμηρούς κόκκους και έχουν επιλεγεί κατόπιν από αυστηρό ποιοτικό έλεγχο.

Η σπουδαιότητα της σωστής και υψηλής λείανσης των επιφανειών είναι οι εξής :

i) Η τραχύτητα των επιφανειών, θα πρέπει να αφήνει ανεπηρέαστη την αξιόπιστη μέτρηση του μήκους των πλακιδίων, όπως ηλεκτρονικοί συγκριτές, όταν γίνει η σύζευξή τους, με την βοήθεια οργάνων επαφής. Διάφορα σημεία εξόγκωσης της επιφάνειας είναι μη αποδεκτά.

ii) Στις συμβολομετρικές μετρήσεις είναι πολλή σημαντική η υψηλή λείανση των επιφανειών.

iii) Όταν τα όρια ανοχής της τραχύτητας ξεπερνούν τις επιτρεπτές τιμές, τότε τα πλακίδια δεν είναι σε θέση να τελέσουν το ρόλο τους σαν μέτρο σύγκρισης.

iv) Με το να υπάρχει τραχύτητα μεταξύ των επιφανειών των πλακιδίων μειώνεται η δυνατότητα συστροφής μεταξύ τους και ο κίνδυνος φθοράς τους είναι πολύ μεγαλύτερος.

Παρόλο που οι ανοχές τραχύτητας εφαρμόζονται στις πλευρές μέτρησης των πλακιδίων, παραλείπονται περίπου 0,508 mm ή 0,02 ίντσες από τις πλευρικές επιφάνειες. Όμως, απαγορεύεται αυτή η οριακή ζώνη να ξεπερνάει το επίπεδο επιφάνειας μέτρησης. Το γεγονός ότι οι πλευρικές επιφάνειες δεν επηρεάζουν το μήκος της διάστασης, δε συνεπάγει και την ανεξέλεγκτη κατασκευή τους. Θα πρέπει να διατηρείται ένα λογικό επίπεδο ακριβείας. Για τα πλακίδια με μήκος 10,16 mm ή 0,4 ίντσες και παραπάνω , το σφάλμα στην κυβικότητα τους δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα πρώτα 5 λεπτά της μοίρας.

Αρνητικές επιδράσεις εμφανίζουν επίσης και οι διάφορες ρωγμές που μπορεί να έχουν τα πλακίδια ή κενά. Οι διάφορες ζημιές στην επιφάνεια μπορεί να προκληθούν από τους κόκκους που

χρησιμοποιούνται κατά την λείανση. Έχουν καθοριστεί τα επιτρεπτά όρια και στις συγκεκριμένες ατέλειες από τις Ομοσπονδιακές Προδιαγραφές. Οι επιφάνειες της υψηλότερης βαθμίδας ελέγχεται από την μέθοδο της μικροσυμβολομετρίας.

Για τους παραπάνω λόγους, ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις ανοχές ομαλότητας και παραλληλισμού των πλακιδίων. Οι διαστάσεις ανοχών είναι σε μικρόμετρα.

Ονομαστικό Μέγεθος (mm)	**Κατηγορία ανοχών**			
	A	**B**	**C**	**W**
25.4	25400	50800	$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$
50.8	25400	50800	$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$
76.2	25400	76200	$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$
101.6	25400	76200	$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$
127		76200	$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$
152.4		76200	$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$
177.8		76200	$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$
203.2		76200	$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$
254		$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$	$15240 \cdot 10^{-5}$
304.8		$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$	$15240 \cdot 10^{-5}$
406.4		$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$	$15240 \cdot 10^{-5}$
508		$10160 \cdot 10^{-5}$	$12700 \cdot 10^{-5}$	$15240 \cdot 10^{-5}$

Πίνακας 4.2: Ανοχές ομαλότητας και παραλληλισμού πλακιδίων κατά Johansson.

Ονομαστικό Μέγεθος (mm)	**Κατηγορία ανοχών**			
	0	**I**	**II**	**III**
10	0,03	0,05	0,10	0,13
25	0,03	0,05	0,10	0,13
50	0,03	0,05	0,10	0,13
75	0,03	0,08	0,10	0,13
100	0,03	0,08	0,10	0,13
125		0,08	0,10	0,13
150		0,08	0,10	0,13
175		0,08	0,10	0,13
200		0,08	0,10	0,13
250		0,10	0,13	0,15
300		0,10	0,13	0,15
400		0,10	0,13	0,15
500		0,10	0,13	0,15

Πίνακας 4.3.: Διαστάσεις ανοχών σε μικρόμετρα

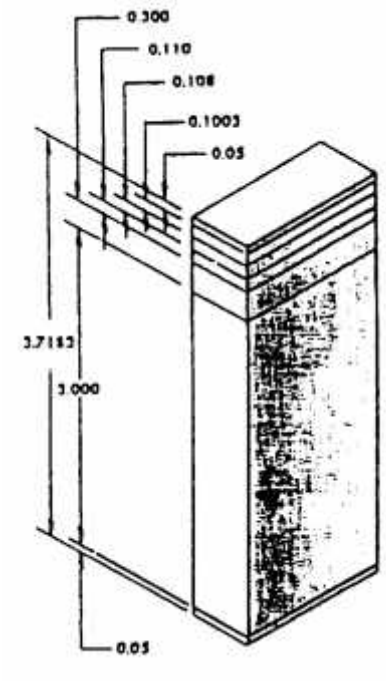
4.5. Σκοπός ύπαρξης πλακιδίων πρότυπου μήκους

Ο κύριος λόγος ύπαρξης των πλακιδίων είναι η δημιουργία ανεξάρτητων διαθέσιμων προτύπων με συγκεκριμένο μήκος, όπου το καθένα χωριστά θα αντιπροσωπεύει μια διάσταση μίας ράβδου μέτρησης. Με την ένωσή τους θα επιτυγχάνεται μία ράβδο, της οποίας η διάσταση θα αντιπροσωπεύει πιστά την ονομαστική διάσταση που απαιτείται για την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, του πιστού αντιγράφου της πραγματικής τιμής, εντός ορίων, θα πρέπει να πληρούνται κάποιες απαιτήσεις.

i. Οι διαστάσεις των μεμονωμένων πλακιδίων θα πρέπει να είναι ικανές για τον κάθε πιθανό συνδυασμό εντός του σχεδιαζόμενου πεδίου και της οριοθέτησης του σετ των πλακιδίων.
ii. Τα όρια ανοχής, της αξιοπιστίας των πλακιδίων, δεν πρέπει να ξεπερνούν κάποιες αποδεκτές τιμές.
iii. Στην σύζευξή των ανεξάρτητων πλακιδίων, η ένωση θα πρέπει να είναι τόσο στενή ώστε το τελικό μήκος της ράβδου να αντικατοπτρίζει το αθροιστικό αποτέλεσμα των πλακιδίων.
iv. Η επαφή μεταξύ τους θα πρέπει να είναι σταθερή για τον καλύτερο χειρισμό ως μονάδα και στην αποσύνδεσή τους να είναι επαναχρησιμοποιήσιμα χωρίς αλλοίωση των αρχικών μεγεθών ή άλλων ιδιοτήτων.

4.6. Συναρμογή πλακιδίων

Στο εμπόριο υπάρχουν κασετίνες με διάφορα μεταξύ τους πρότυπα βιομηχανικά πλακίδια, σε διαβαθμίσεις, ώστε να επιτρέπεται ο κάθε δυνατός συνδυασμός μήκους από την μικρότερη τιμή που βρίσκεται, συνήθως σε ίντσες όταν γίνεται χρήση αγγλοσαξονικών προτύπων και σε χιλιοστά όταν γίνεται χρήση μετρικού πρότυπου συστήματος, μέχρι το τελικό εύρος που αποτελείται η κασετίνα του σετ. Οι παρεκκλίσεις στα διάφορα σετ που κυκλοφορούν στην παραγωγή είναι αρκετά συχνό φαινόμενο.



Χρησιμοποιούμενα πλακίδια

1 x 0.10031

1x0.108

1x0.11

2x0.05=0.1

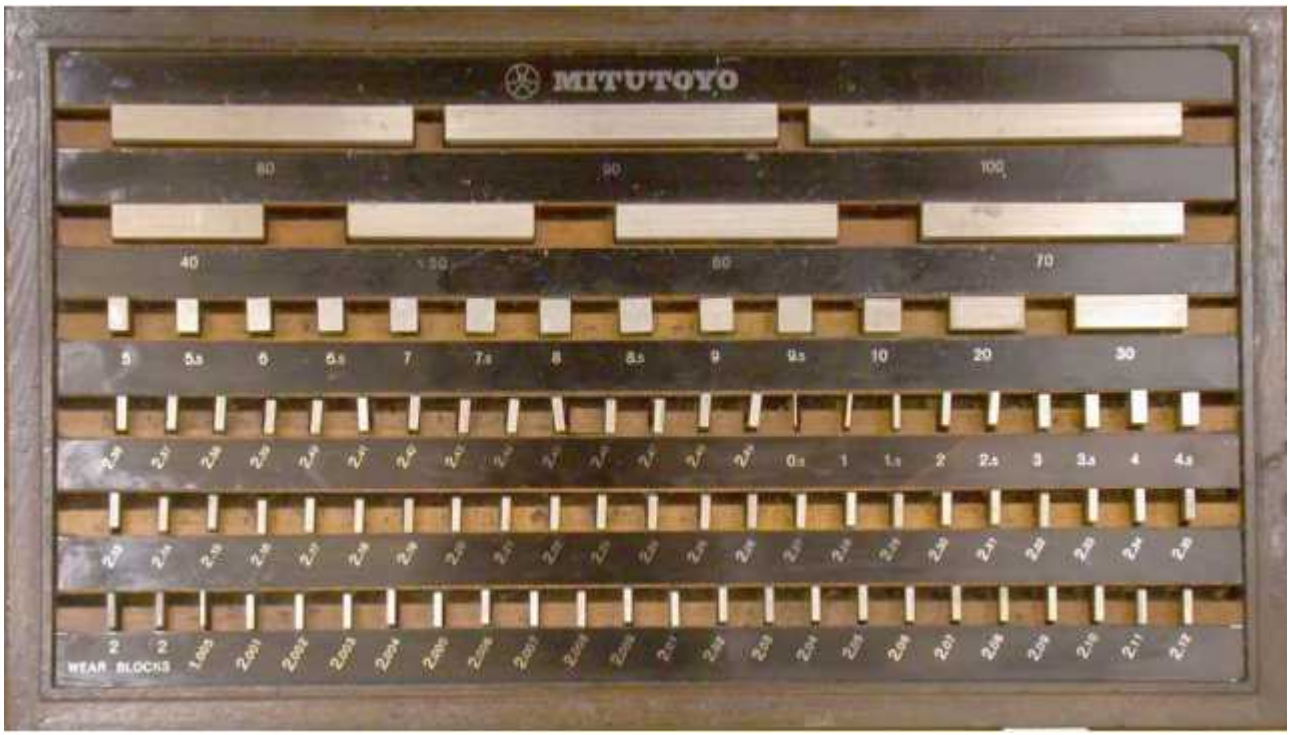
1x0.3

1x3.0

3.7183 inches

Σχήμα 4.1.

Μία αντιπροσωπευτική κασετίνα απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



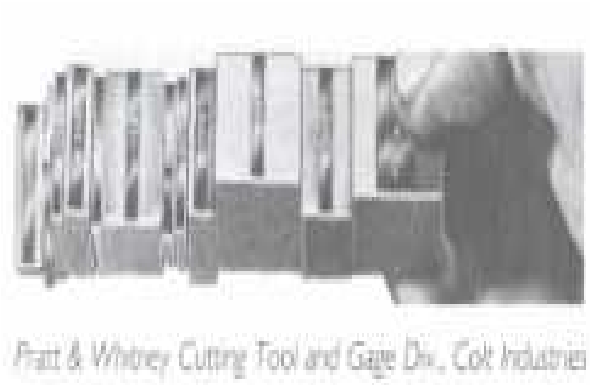
Εικόνα 4.2.:Τυπικό σετ πλακιδίων πρότυπου μήκους εντός θήκης, με ανεξάρτητες και σημειωμένες θέσεις για κάθε πλακίδιο.

Συνιστώμενος προσδιορισμός σετ	**Τεμάχια στο σετ**	**Αριθμός πλακιδίων**	**Πεδίο μεγεθών (μm)**	**Διαβάθμιση (μm)**
Τυπικό σετ 81 πλακιδίων	86	9 49 19 4	2542,5-2562,9 2565,4-3784,6 1270-24130 $25400 - 1{,}0160 \cdot 10^5$	2,5400 25,400 1270 25400
Περιορισμένο σετ 36 πλακιδίων	36	9 9 9 1 5 2 1	2542,5-2562,2 2565,4-2768,6 2794-4826 1270 2540-12700 25400-50800 $1{,}0160 \cdot 10^5$	2,5400 25,400 254 1270 2540 25400 $1{,}0160 \cdot 10^5$
Μικρό σετ 28 πλακιδίων	28	1 9 9 9	509,27 510,54-530,86 533,4-736,6 254-2286	0,00005 0,0001 0,001 0,010
Μικρό σετ 21 πλακιδίων	21	1 9 11	255,27 256,54-276,86 254-508	0,00005 0,0001 0,001
Σετ 8 μεγάλων πλακιδίων	8	4 2 2	$1{,}2700 \cdot 10^5$- $2{,}0320 \cdot 10^5$ $5{,}5400 \cdot 10^5$- $3{,}0480 \cdot 10^5$ $4{,}0640 \cdot 10^5$-$5{,}0800 \cdot 10^5$	1,00 2,00 4,00

Πίνακας 4.4.: Συνιστώμενα σετ πρότυπων βιομηχανικών μηκών.

Ο χειρισμός των πλακιδίων δεν απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Αφού επιλεχτούν τα πλακίδια για το επιθυμητό μήκος της μέτρησης, έρχονται σε επαφή ώστε να αποτελέσουν ένα ενιαίο σώμα με την βοήθεια της λεγόμενης τεχνικής *συστροφή*.

Εφαρμόζεται πάνω τους δύναμη ικανή ώστε να μηδενιστεί η βαρυτική έλξη των πλακιδίων. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη τεχνική, εάν εφαρμοστεί σωστά, το τελικό συσσωμάτωμα έχει συνολικό μήκος ίσο με τα αναγραφόμενα μήκη και το κενό ανάμεσα τους θεωρείται αμελητέο. Η επαφή των πλακιδίων μέσω συστροφής επιτυγχάνεται από την επίδραση της έλξης των μορίων μεταξύ τους και από την κολλώδη δράση που αποδίδεται στο πολύ λεπτό στρώμα λιπαντικού ή από την ήδη υπάρχουσα υγρασία. Η τεχνική της συστροφής απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες (σχ.3.3. και σχ. 3.4).



Σχήμα4.3.: ένδειξη αντοχής συσσωματώματος ως προς το βάρος τους.

Σχήμα 4.4: Τεχνική συστροφής πλακιδίων.

4.7. Περιγραφή και τεχνικές Διαστάσεις

Οι τρεις μορφές των πρότυπων πλακιδίων μήκους κύβος, σφαίρα και ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο καθορίζονται από τον αμερικάνικο οργανισμό τυποποίησης για ANSI B89.1.9 M-1984 (R1989). Οι πιο κοινοί τύποι πλακιδίων απεικονίζονται παρακάτω.

Ο πίνακας παρακάτω παρουσιάζονται οι ανοχές σε μm για διάφορα μήκη που προκύπτουν από το συνδυασμό των πλακιδίων πρότυπου μήκους όπως καθορίζονται από την τυποποίηση DIN 861.

Μήκος	**Ποιότητα**			
(mm)	**0**	**I**	**II**	**III**
0,1	-	0,2	0,5	1,0
0,5	0,1	0,2	0,5	1,0
10	0,12	0,25	0,6	1,2
20	0,14	0,3	0,7	1,4
30	0,16	0,35	0,8	1,6
40	0,18	0,4	0,9	1,8
50	0,2	0,45	1,0	2,0
60	0,22	0,5	1,1	2,2
70	0,24	0,55	1,2	2,4
80	0,26	0,6	1,3	2,6
90	0,28	0,65	1,4	2,8
100	0,3	0,7	1,5	3
150	0,4	0,95	2,0	4
200	0,5	1,2	2,5	5
300	0,7	1,7	3,5	7
400	0,9	2,2	4,5	9
500	1,1	2,7	5,5	11
600	1,3	3,2	6,5	13
700	1,5	3,7	7,5	15

800	1,7	4,2	8,5	17
900	1,9	4,7	9,5	19
1000	2,1	5,2	10,5	21
1500	3,1	7,7	15,5	31
2000	4,1	10,2	20,5	41
3000	6,1	15,2	30,5	61
4000	8,1	20,2	40,5	81

Πίνακας 4.5.:Ανοχές πλακιδίων σύμφωνα με το DIN 861

4.8. Έλεγχος πλακιδίων

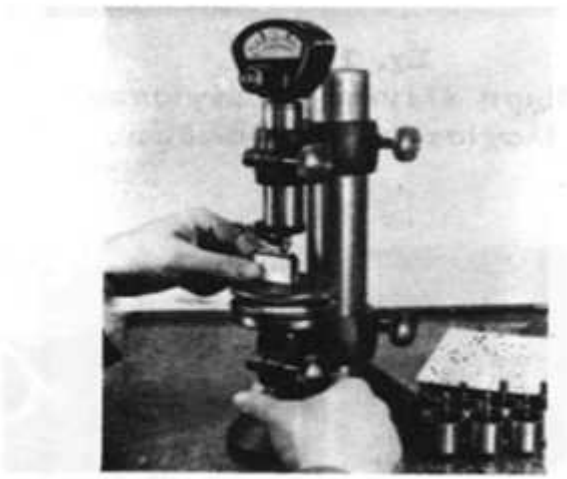
Οι επιφάνειες των πλακιδίων υφίστανται φθορά από την χρήση. Η φθορά είναι αισθητή στην επιπεδότητα και στην ατελή λειότητα τους. Όταν τα πλακίδια φθείρονται γίνεται αδύνατη η πρόσφυση μεταξύ τους και επιστρέφονται στο εργοστάσιο όπου κατασκευάστηκαν για τον διορθωτικό έλεγχο. Κατά την διάρκεια του ελέγχου, τα συμπεράσματα μπορεί να είναι δύο, τα ακόλουθα.

1. Μόνο ένα μικρό ποσοστό των πλακιδίων έχουν υποστεί φθορά από το σύνολο ενώ τα υπόλοιπα τεμάχια βρίσκονται σε καλή κατάσταση. Τότε αντικαθίστανται μόνο τα συγκεκριμένα με καινούρια με σχετικώς μικρό κόστο.
2. Μεγάλο ποσοστό των πλακιδίων έχουν υποστεί φθορά. Εάν έχουν φθαρεί λίγο, οι επιφάνειες τους υπόκεινται διάφορες επεξεργασίες για την επαναφορά της επιπεδότητας και της λειότητας. Με την επεξεργασία αυτή η ονομαστική διάσταση αλλοιώνεται και επομένως η συγκεκριμένη σειρά πλακιδίων κατατάσσεται σε χαμηλότερη ποιότητα ανάλογα με το μέγεθος της φθοράς.

4.9. Χρήση και εφαρμογές των πλακιδίων πρότυπου μήκους

Οι χρήσεις των πλακιδίων είναι ποικίλες και για αυτό τον λόγο κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την ποιότητάς τους..

Εικόνα 4.5: Ρύθμιση μήκων σύγκρισης μέσω πλακιδίων



Εικόνα 4.6: Ρύθμιση μηκών σύγκρισης μέσω πλακιδίων

Πλακίδια ποιότητας 00 έως Ι

Έχουν την ύψιστη ακρίβεια και θεωρούνται βασικά πρότυπα αναφοράς. Γενικώς χρησιμοποιούνται για την δημιουργία συνδέσμου με τα εθνικά πρότυπα μήκους. Ανήκουν τα πλακίδια που έχουν πρωταρχικό ρόλο σε ένα εργαστήριο ή εργοστάσιο. Τα πλακίδια που ανήκουν στα παραπάνω σετ ποιότητας θα πρέπει να ακολουθούν τα πρότυπα Εθνικού Οργανισμού Τυποποίησης.

Χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση και την ρύθμιση μετρητικών οργάνων που πωλούνται ευρέως στην αγορά ισοδύναμων ονομαστικών μηκών. Οι συγκριτικές μετρήσεις διεξάγονται με μοντέρνα ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης που συντελούνται από υψηλό βαθμό ευαισθησίας και συνεχώς ελεγχόμενης ακρίβειας.

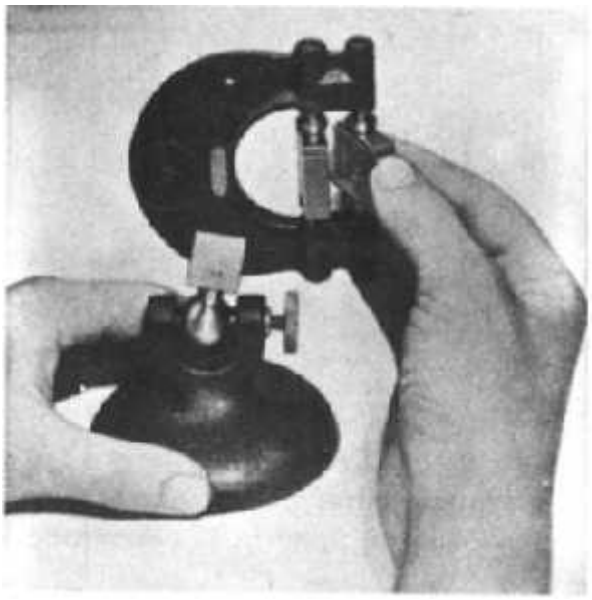
Μέσω των πρότυπων πλακιδίων μήκους γίνεται η ρύθμιση διάφορων ευαίσθητων μετρητικών οργάνων. Η ακρίβεια του πλακιδίου ως προς την γεωμετρική ακρίβεια και ακρίβεια μήκους συντονίζεται με την αναμενόμενη συνέπεια ρύθμισης του οργάνου. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εύκολα και γρήγορα ο έλεγχος των ηλεκτρικών οργάνων.

Πλακίδια ποιότητας ΙΙ

Χρησιμοποιώντας τα πλακίδια ποιότητας ΙΙ γίνεται ο έλεγχος των ελεγκτήρων ορίων. Ελέγχεται η φθορά των ελεγκτήρων και η διατήρησή τους στις προδιαγραφές του κατασκευαστή και σχεδιαστή. Η ευθυγράμμιση των πλακιδίων για τη διαδικασία αυτή απαιτεί προσεκτικότητα και ικανότητας διότι ο έλεγχος των ορίων γίνεται εσωτερικά με συσσωμάτωμα πλακιδίων. Επομένως είναι χρήσιμη η στήριξή τους με κάποια βοηθήματα ώστε να μείνουν τα απαιτούμενα πλακίδια συνδεδεμένα(όπως ράμφη ή άλλα εξαρτήματα άκρων συγκράτησης).

Ομοίως ρυθμίζονται και οι κινητοί ελεγκτήρες με την διαφορά ότι στη περίπτωση των κινούμενων απαιτείται η προσαρμογή των μελών επαφής του οργάνου σε σχέση με την διάσταση που ορίζεται από την σύνθεση των πλακιδίων.

Εκτός από τους ελεγκτήρες, ρυθμίζονται και τα ρυθμιστικά όργανα που επαναλαμβάνουν μετρήσεις, ελέγχονται σε ειδικούς χώρους με συσσωμάτωμα πλακιδίων ως προς το μέγεθός τους.



Σχήμα 4.7.: Ρύθμιση ελεγκτήρα μέσω πλακιδίων

Τα συγκριτικά όργανα και ιδίως τα μη συμβατικά ρυθμίζονται σε αξιοσέβαστο βαθμό από τα πλακίδια μέτρησης λόγω της ευκολίας χρήσης τους και της ακρίβειάς τους. Τα ρυθμιστικά όργανα για αυτούς τους τύπους οργάνων πολλές φορές δεν διατίθενται στα καταστήματα ή η ακρίβεια που απαιτούν τα συγκριτικά όργανα να μην ικανοποιούνται από τα ρυθμιστικά..

Πλακίδια ποιότητας ΙΙΙ

Τα πλακίδια ποιότητας ΙΙΙ χρησιμοποιούνται όλο και πιο πολύ στην κατασκευή εργαλείων και προϊόντων. Η χρησιμότητα τους είναι ευρέως γνωστή στους κατασκευαστές και τεχνίτες.

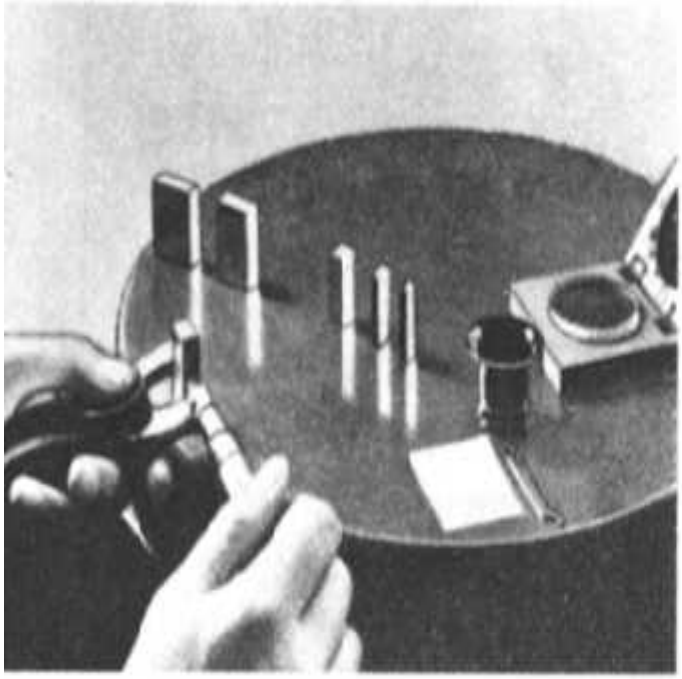
Σε πολλές περιπτώσεις είναι αδύνατη η μέτρηση κάποιων αυλακώσεων ή περιορισμένων χώρων με κάποιο ογκώδη μετρητικό όργανο. Τα πρότυπα πλακίδια αποτελούν την λύση για τις μετρήσεις αυτές, όπως επίσης και για την άμεση μέτρηση παράλληλων επιφανειών.

Ο κάθε μηχανικός ή τεχνίτης κάνει χρήση στην καθημερινή του εργασία μετρητικά όργανα, τα οποία συχνά παρεκκλίνουν από την προδιαγραφόμενη ακρίβεια για την οποία κατασκευάστηκαν. Ένα συχνό παράδειγμα είναι ο έλεγχος του μικρομέτρου ως προς την γραμμικότητα που ίσως έχει επηρεαστεί από την φθορά του σπειρώματος. όταν ο κινητός επαφέας δεν εφάπτεται με τον σταθερό στην θέση μηδέν, τοποθετώντας πλακίδια πάχους ελάχιστων ιντσών είναι δυνατή η ρύθμιση αυτή.

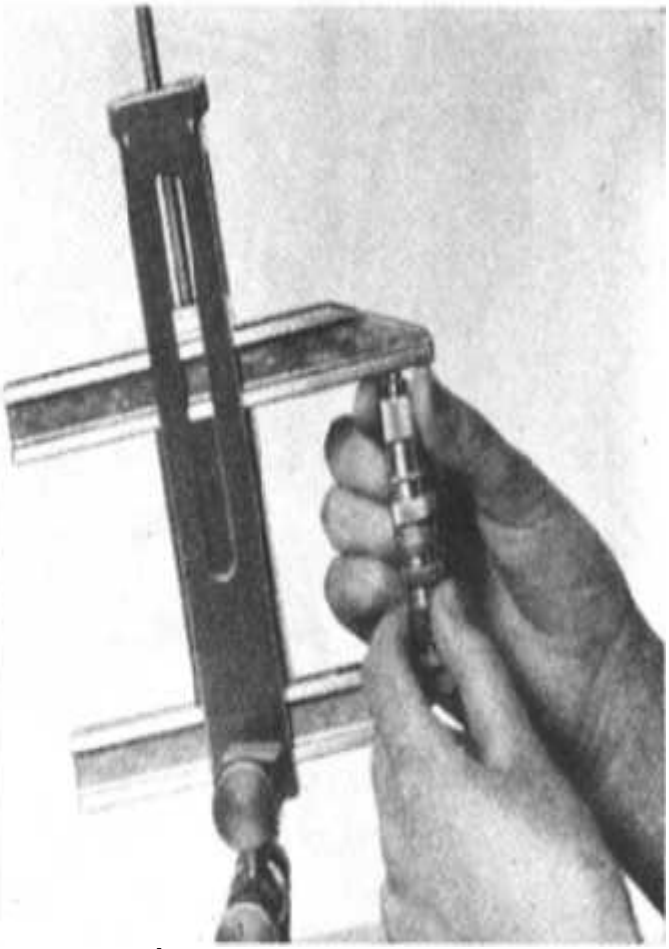
Σχήμα 4.8

Απολύτως χρήσιμα είναι στη διαδικασία σύγκρισης και μεταφοράς διαστάσεων είτε σε μορφή συσσωματώματος είτε σε απλή ευθύγραμμη τοποθέτηση υποστηριζόμενα συμπεριλαμβανομένου μία επίπεδη βάση.

Ρύθμιση της ράβδου των ημιτόνου για τον σχηματισμό της σωστής γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ της ράβδου και των πλακιδίων.

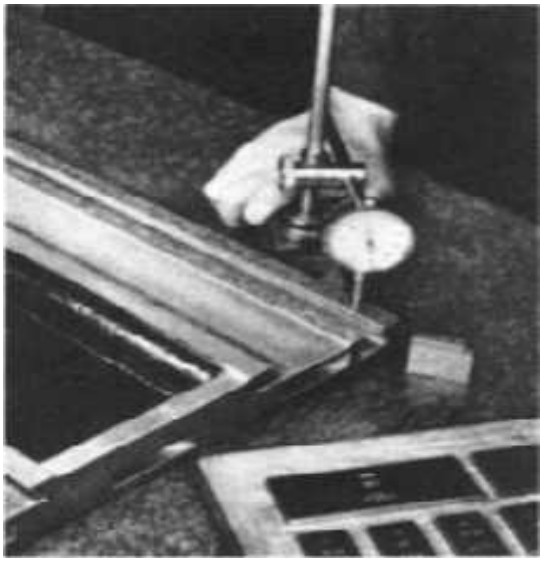


Εικόνα 4.9.: Ρύθμιση και έλεγχος μικρομέτρου εσωτερικών μέσω πλακιδίων.



Εικόνα 4.10.: Ρύθμιση μικρομέτρου διαστάσεων μέσω πλακιδίων.

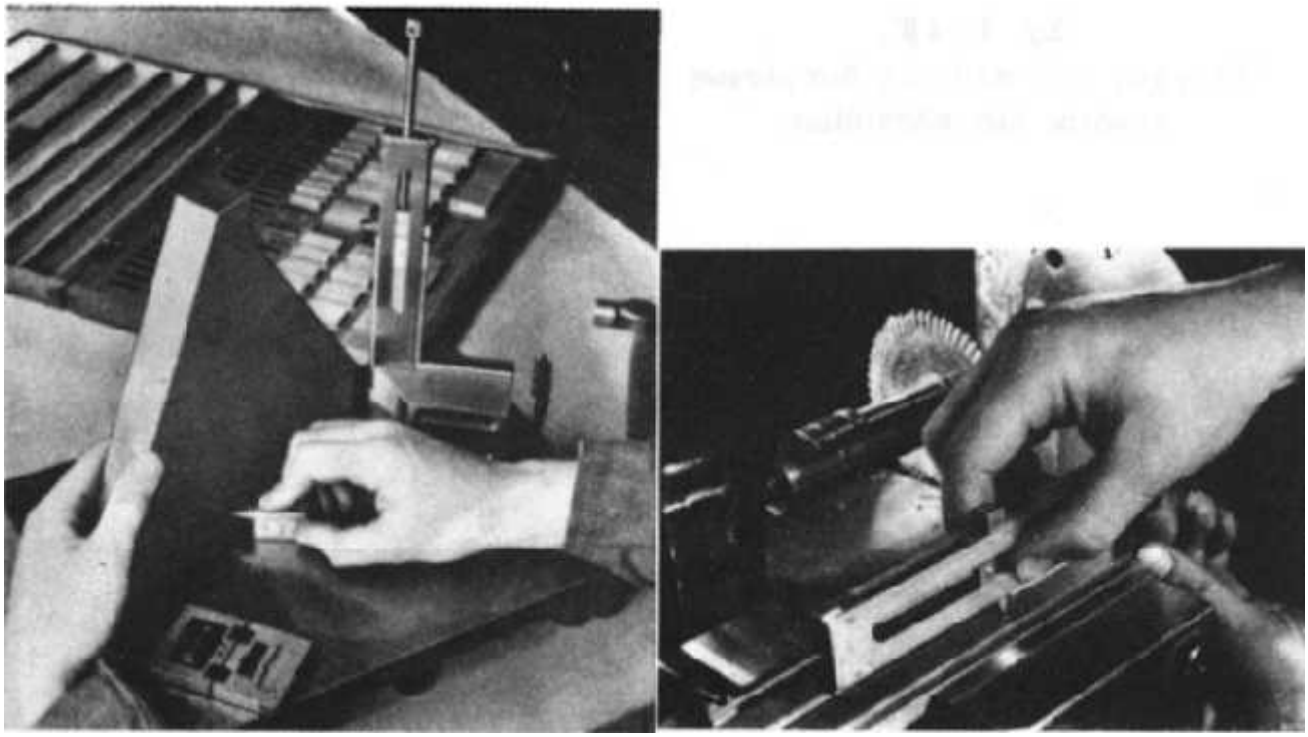
Εικόνα 4.11.: Σχηματιζόμενη γνωστή γωνία με την των βοήθεια πρότυπων πλακιδίων και ράβδο ημιτόνου.



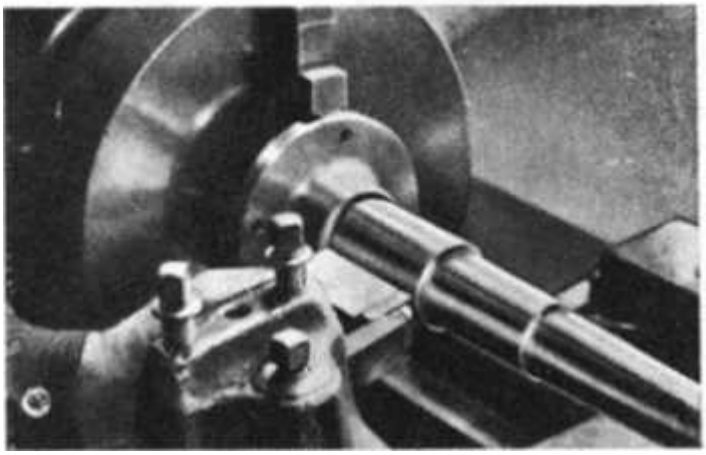
Εικόνα 4.12.: Μεταφορά διάστασης μέσω πλακιδίων.

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται διάφορες διεργασίες που διεκπεραιώνονται με την βοήθεια των πρότυπων πλακιδίων μήκους.

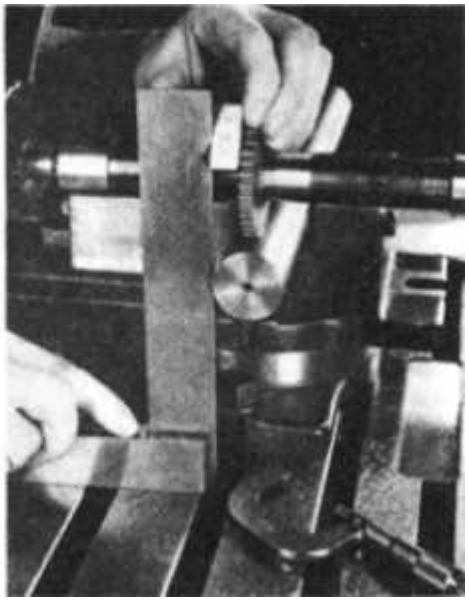
(πηγή: Βιβλιοθήκη του τεχνικού-Τεχνολογία μηχανουργικών μετρήσεων, http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3861/3/papadopoulosd_metrology.pdf).



Εικόνα 4.13: Ακριβή χάραξη υπό την βοήθεια ιδιοσυκευής πλακιδίων



Εικόνα 4.14:Ρύθμιση θέσεως κοπτικού εργαλείου τόρνου μέσω πλακιδίων.



Εικόνα 4.15: Ρύθμιση της θέσης φρέζας φρεζομηχανής μέσω πλακιδίων.

4.10. Συντήρηση πρότυπων πλακιδίων μήκους

Η φθορά των πρότυπων πλακιδίων μήκους αλλά και η αλλοίωση των διαστάσεων τους επέλθει από τρεις κύριους παράγοντες. Ανάλογα το υλικό κατασκευής και την ικανότητα του στην αστάθεια των διαστάσεων. Με την δύναμη της τριβής κατά την συστροφή τα πλακίδια φθείρονται, με αποτέλεσμα την επισκευή τους και την ύστερη κατάταξη τους σε χαμηλότερο επίπεδο ακρίβειας και αξιοποίησης. Τέλος, τα πλακίδια πρότυπου μήκους λαμβάνουν χτυπήματα, διάβρωση, γδάρσιμο και ποικίλα άλλα κατά την διάρκεια των εργασιών ή κατά την φύλαξή τους.

Σε διαφορετικές χρονικές περιόδους χρήζουν ανάγκη αλλαγής τα τεμάχια που αποτελείται ένα σετ πλακιδίων. οι μεταβολές των διαστάσεων προκαλούνται από ποικίλα αίτια. Μερικά αίτια εμφανίζονται ανάλογα το υλικό κατασκευής δηλώνει τον βαθμό που είναι επιρρεπή στην διαφορά θερμοκρασίας, στην αντοχή τριβής, αντίσταση στη φθορά, απρόσεκτη χρήση των πλακιδίων ή μη επιμελή φροντίδα τους(εκτεθειμένα σε σκόνη, υγρασία, κλπ). Τα αποτελέσματα της παραλλαγής των διαστάσεων δεν είναι εμφανή και για αυτό πρέπει να ελέγχονται ιδανικά κάθε έξι μήνες.

Τα όρια ανοχής κάθε πλακιδίου θα πρέπει να ελέγχεται από κάθε εργοστάσιο κατασκευών όπου λαμβάνουν χώρα ακριβείς μετρήσεις ώστε τα αποτελέσματα του ελέγχου να είναι αξιόπιστα. Η περιοδικότητα ελέγχου και συντήρησης εξαρτάται από την συχνότητα χρήσης, την κατηγορία ακρίβειας που αντιπροσωπεύει το κάθε σετ πλακιδίων και από τον χώρο εργασίας που συντελούνται οι εργασίες.

4.10.1. Έλεγχος ακρίβειας πλακιδίων

Όλα τα όργανα και εξαρτήματα ακολουθούν την διαδικασία προετοιμασίας πριν διαδικασία ελέγχου τους. Τα βήματα του ελέγχου που ακολουθούν μπορούν να εκτελεστούν και με διαφορετικά σειρά.

Η προετοιμασία των τεμαχίων περιλαμβάνει τον επιμελή καθαρισμό των πλακιδίων σε υπερηχητικά πλυντήρια διάλυσης και την εξισορρόπηση της θερμοκρασίας μεταξύ των προτύπων και των πλακιδίων που υπόκεινται σε έλεγχο εξισορρόπηση αυτή κατορθώνεται εάν τοποθετηθεί το πλακίδιο σε μία πλάκα εμποτισμού ή αλλιώς απαγωγέα θερμότητας για κατάλληλο χρονικό διάστημα.

Ο πιο απλός έλεγχος είναι ο *οπτικός έλεγχος*, υποβοηθούμενος από έναν μεγεθυντικό φακό αναζητώντας αμυχές, κοιλώματα, εγκοπές ή οτιδήποτε άλλο που θα έθετε το πλακίδιο αναξιόπιστο. Στο κομμάτι του οπτικού ελέγχου αν κριθεί αναγκαίο χρησιμοποιούνται τραχύμετρα για την μέτρησης της τραχύτητας και γενικά ποιότητας της επιφάνειας ή με όργανο ιχνογράφο υψηλής

ευαισθησίας ή με άλλα διάφορα μέσα εξελιγμένης τεχνολογίας ικανά να μετρήσουν αυτές τις ατέλειες. Κύριο μέλημα στον οπτικό έλεγχο είναι και η ορθότητα των γωνιών. Η εμφάνιση γρεζιού στις άκρες του πλακιδίου, υπάρχει πιθανότητα να προκαλέσει ζημιά και σε άλλα πλακίδια αλλά επίσης μειώνει την λειτουργική ικανότητα του. (Εικ. 3.18)

Για τον *έλεγχο της γεωμετρίας* των πλακιδίων δύο είναι οι κύριοι παράγοντες που απαιτούν έλεγχο, ο παραλληλισμός και η ομαλότητα. Προτιμότερη μέθοδος για τον έλεγχο ομαλότητας είναι η πρόσπτωση μονοχρωματικού φωτός δημιουργώντας ένα οπτικό επίπεδο. Η έλλειψη ομαλότητας δημιουργεί παρεκκλίσεις της φετινής ζώνης. Ο παραλληλισμός ελέγχεται επίσης με την βοήθεια φωτεινών δεσμών πάνω σε οπτικό επίπεδο και ενός πρότυπου πλακιδίου με ισοδύναμο ονομαστικό μέγεθος με εκείνο που ελέγχεται. Επίσης μπορεί να αξιολογηθεί με όργανα σύγκρισης σε όλη την επιφάνεια μέτρησης. Και οι δύο παράμετροι για να ελεγχθούν και να συγκριθούν με τις ενδεικτικές ανοχές, απαιτούνται πολλά και επανειλημμένα βήματα από έμπειρους τεχνίτες με ιδιαίτερες ικανότητες.

Έλεγχος ποιότητας συστροφής των πλακιδίων είναι ένας από τους πιο σημαντικούς ελέγχους επειδή στην διαδικασία συσσωματώματος στηρίζονται πολλές διεργασίες και εφαρμογές των πλακιδίων. Η ικανότητα των πλακιδίων να αποτελούν συσσωμάτωμα με αμελητέο κενό μεταξύ τους δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο γνωστή διάσταση είναι το κύριο χαρακτηριστικό τους. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται με δύο τρόπους, είτε συστρέφοντας τα πλακίδια με πρότυπα πλακίδια που η ποιότητά τους είναι γνωστή είτε συστρέφοντας το σε οπτικό επίπεδο και εν συνεχεία εξεταζόμενο για παρουσία χρωματισμών. Σε όποιο σημείο υπάρξει χρωματισμός, δηλώνει και την ύπαρξη κενού στην επιφάνεια, το οποίο κενό δεν πρέπει να ξεπερνά το 5% της συνολικής επιφάνειας.

Εικόνα 3.16: πέτρα ακονίσματος για τον πλήρη καθαρισμό της επιφάνειας από τα γρέζια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

5.1 Γενικά περί μετρήσεων

Μετρητικά όργανα μέτρησης αποκαλούνται όλα εκείνα τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση κάποιας διάστασης, ενός αντικειμένου. Αποτελούνται από βαθμονομημένα σε κλίμακα γεωμετρικά τεμάχια, των οποίων τα διαστήματα βαθμονόμησης είναι σύμφωνα με τις διαστάσεις που έχουν οριστεί όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Τα μετρητικά όργανα συναποτελούνται από διάφορα επιμέρους εξαρτήματα που με την ένωσή τους, αναλόγως την περίπτωση γίνεται η κατάλληλη διάταξη, δίνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα της μέτρησης.

Το μετρούμενο μέγεθος που ζητείται να μετρηθεί, τοποθετείται στον υποδοχέα, δηλαδή στις σιαγόνες του παχυμέτρου ή στον κινητό και σταθερό επαφέα του μικρόμετρου. Μετά τον υποδοχέα, το μέγεθος πηγαίνει σε έναν μετατροπέα.

Η χρησιμότητα του συγκεκριμένου οργάνου είναι η μετατροπή του μηχανικού και πνευματικού σήματος (μέγεθος) σε ηλεκτρικό. Δεν είναι λίγες οι φορές που χρειάζεται ενίσχυση της ενέργειας για να ληφθεί μία μεγαλύτερη ένδειξη. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαραίτητος είναι ο ενισχυτής. Ως ενισχυτής σε ένα μηχανικό όργανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μοχλός με άνισα ανοίγματα ή αν είναι οπτικό, ένας μεγεθυντικός φακός. Υπάρχουν και ηλεκτρικοί ενισχυτές.

Στην συνέχεια, το μέγεθος φθάνει σε ένα ενδεικτικό όργανο όπως για παράδειγμα το παχύμετρο του Βερνιέρου με το βαθμονομημένο στέλεχος. Ίσως να είναι ηλεκτρικό όργανο με έναν κινούμενο δείκτη σε μία βαθμονομημένη κλίμακα.

Τέλος, εάν απαιτείται, χρησιμοποιείται ο ρυθμιστής. Στον ρυθμιστή έχει ήδη οριστεί μία επιθυμητή τιμή και όταν φτάσει το μέγεθος του οργάνου, συγκρίνει τις δύο τιμές. Σε περίπτωση ανισότητας των δύο τιμών, στέλνει διορθωτικό μήνυμα στην εργαλειομηχανή για την περαιτέρω κατεργασία του αντικειμένου έως ότου να φθάσει στη σωστή τιμή.

5.1.1 Κύρια χαρακτηριστικά των μετρητικών οργάνων

Τα κύρια χαρακτηριστικά των μετρητικών οργάνων είναι :

- Ενδεικτική περιοχή : Διάστημα εντός του οποίου μπορούν να αναγνωριστούν οι τιμές μετρήσεων επί της κλίμακας του οργάνου.

- Μετρητική περιοχή : Το μέρος της ενδεικτικής τιμής μέσα στο οποίο το λάθος του μετρητικού οργάνου είναι μικρότερο από ένα μέγιστο όριο. Για πολλά όργανα ισχύει:

  Ενδεικτική περιοχή = Μετρητική περιοχή

- Δυνατότητα ανάγνωσης : Η μικρότερη τιμή που μπορεί να διαβαστεί στην κλίμακα χωρίς εκτίμηση.
- Ευαισθησία οργάνου : ο λόγος απόκλισης του οργάνου σε mm προς την μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους, για παράδειγμα, σε ένα μετρητικό ρολόι στο οποίο η απόσταση μεταξύ των δύο γραμμών της κλίμακας είναι 2 mm για μετακίνηση του κινητού στελέχους κατά 0,01 mm η ευαισθησία είναι :

$$\frac{2}{0{,}001} = 200$$

  Σε πολλά μετρητικά όργανα, η ευαισθησία δίνεται σαν ο λόγος :

$$\frac{\textit{απόσταση των γραμμών της κλίμακας}}{\textit{μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους}}$$

- Μετρητική δύναμη : Η δύναμη την οποία το κινητό στέλεχος του οργάνου εξασκεί πάνω στο μετρούμενο αντικείμενο. Η δύναμη αυτή δεν πρέπει να υπερβαίνει ορισμένα όρια. Να μην είναι πολλή μεγάλη γιατί προκαλεί παραμόρφωση του δοκιμίου, ούτε να είναι πολλή μικρή γιατί τότε το κινητό στέλεχος δεν εφάπτεται καλά στην επιφάνεια του αντικειμένου.
- Διασπορά : Οφείλεται στην επίδραση των τυχαίων σφαλμάτων, όπως για παράδειγμα, η μεταβαλλόμενη ένταση της δύναμης τριβής στις αρθρώσεις, μεταβολή της θερμοκρασίας λόγω ακτινοβολίας του οργάνου, διαφορά πάχους των γραμμών της κλίμακας. Χαρακτηριστικό μέγεθος της διασποράς του οργάνου είναι η απόκλιση Q.
- Σφάλμα ένδειξης : είναι η διαφορά ένδειξης του οργάνου, κατά την μέτρηση ενός προτύπου, από την ένδειξη που θα έδινε το όργανο αν ήταν απαλλαγμένο από σφάλμα.

Προκειμένου να αξιολογηθεί ένα μετρητικό όργανο θα πρέπει να λάβουμε υπ’ όψη :

- Την μεταβολή του μετρούμενου αντικειμένου – δοκιμίου, η οποία προκαλεί την μετατόπιση του δείκτη κατά μία γραμμή κλίμακας
- Την ενδεικτική περιοχή
- Την μετρητική περιοχή
- Την δυνατότητα ανάγνωσης

- Την ευαισθησία του οργάνου
- Την διασπορά του οργάνου
- Την επιπεδότητα των επαφέων του οργάνου
- Το μέγεθος της μετρητικής δύναμης
- Το σφάλμα ένδειξης που δίνει το όργανο

5.1.2. Κατηγορίες βαθμονομημένων μετρητικών οργάνων

Τα εργαλεία μέτρησης μηκών, γωνιών, σπειρωμάτων, κ.τ.λ. διαιρούνται σε δύο βασικές κατηγορίες:

Α) Εργαλεία μικρής ακριβείας

Β) Εργαλεία μεγάλης ακριβείας

Ανεξαρτήτως όμως την κατηγορία στην οποία ανήκουν, πρέπει να διατηρούνται καθαρά, σε καλή κατάσταση και να προστατεύονται από τις οξειδώσεις και τις βλάβες, όταν δεν χρησιμοποιούνται. Η προστασία τους επιτυγχάνεται με την επάλειψή τους με λίγο ορυκτέλαιο ή λίπος ή βαζελίνη και τοποθετώντας τα σε κατάλληλη θήκη.

Στις διάφορες μετρήσεις δεν πρέπει να γίνεται χρήση εργαλείου μεγαλύτερης ή μικρότερης ακριβείας, από κείνο που προβλέπεται και απαιτείται. Το απλούστερο όργανο, πολύ πιθανό να δώσει αποτέλεσμα μικρής ακριβείας από το αντίστοιχο μεγάλης. Τα όργανα μεγάλης ακριβείας, με τον χρόνο παρουσιάζουν περισσότερα σφάλματα από την φθορά και την βλάβη. Ανάλογα με τις ανάγκες της μέτρησης χρησιμοποιείται και το κατάλληλο όργανο. Στην εργασία ενός ξυλουργού ή ενός οικοδόμου, το κοινό σε όλους μέτρο είναι ικανοποιητικό για να λάβει μία μέτρηση όμως ένας μελετητής ή ένας φυσικός δεν αρκείται στην χρήση του, ζητάει μεγαλύτερη ακρίβεια.

Το προσωπικό που χρησιμοποιεί τα διάφορα εργαλεία και όργανα μετρήσεως, πρέπει να γνωρίζει τον χειρισμό του, διότι αρκετές είναι οι φορές δημιουργίας σφαλμάτων από την άγνοια και την λανθασμένη χρήση.

Τα όργανα μέτρησης αποτελούνται από συστατικά βαθμονομημένα σε κλίμακα. Τα συστατικά αυτά βρίσκονται σε πολλά και διαφορετικά είδη οργάνων. Ένα συστατικό μπορεί να αποτελεί από μόνο του όργανο μέτρησης όπως ένας χάρακας. Το συστατικό μπορεί να συνοδεύεται και από άλλα ή και να είναι εξοπλισμένο με συγκεκριμένες συσκευές που θα εκτιμούν την βαθμονόμηση των διαστημάτων.

Η αποθήκευση των οργάνων είναι πολλή σημαντική για την σωστή χρήση και συντήρηση τους. Στον χώρο εργασίας ταξινομούνται ανάλογα με την κατηγορία όπου ανήκουν. Η ανατρόχιση των φθαρμένων εργαλείων και ο έλεγχος των μετρητικών οργάνων γίνεται από έμπειρο προσωπικό τεχνιτών. Σημαντικός παράγοντας για την αποδοτική συμπεριφορά τους είναι ο προσεκτικός έλεγχος ακριβείας και η συντήρηση τους.

5.1.3. Βασικές έννοιες για όργανα με ενδείξεις

Μετρημένο μέγεθος: είναι το μέγεθος το οποίο πρέπει να συγκριθεί με ένα ομοειδές για να εξακριβωθεί η τιμή του, όπως είναι το μήκος.

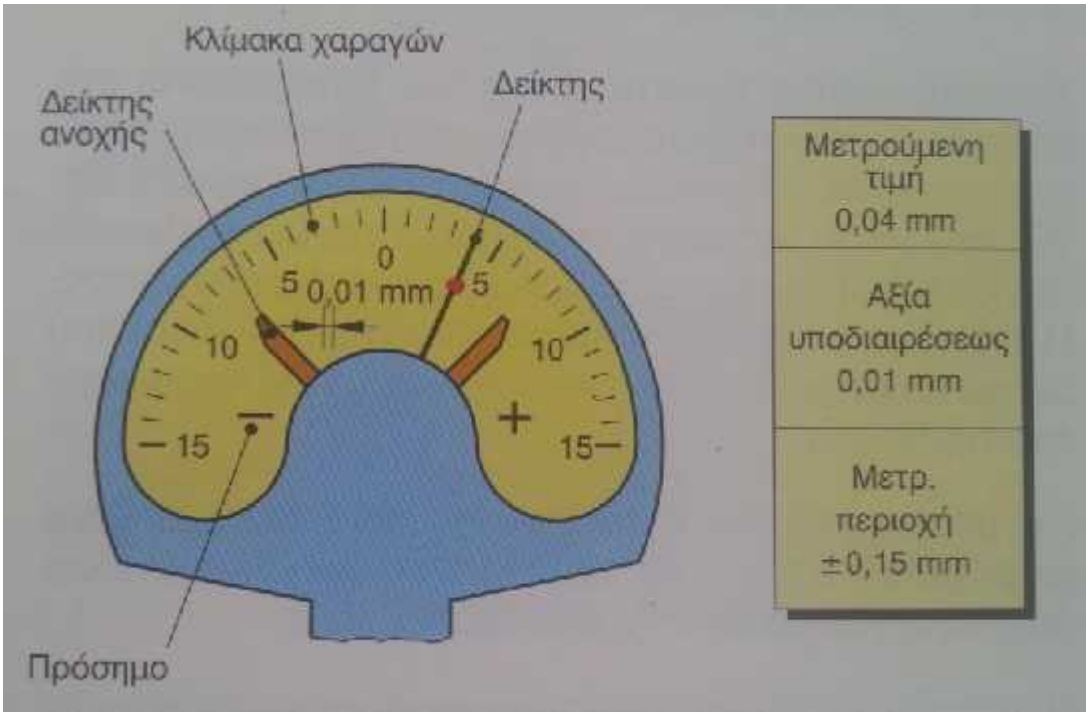
Τιμή μετρήσεως: η προσδιορισμένη τιμή του αντικειμένου με αριθμητική τιμή και την συνοδευόμενη μονάδα μέτρησης.

Περιοχή μετρήσεως: είναι το περιορισμένο διάστημα της μέτρησης που συμπεριλαμβάνει και τις γνωστές αποκλίσεις.

Απόσταση χαραγής: η απεικονιζόμενη μονάδα αρίθμησης που αναγράφεται επάνω στο όργανο μέτρησης.

Αξία υποδιαιρέσεως: η ελάχιστη αλλαγή της μετρούμενης τιμής, η οποία προκαλεί την κίνηση της μετατόπιση της βελόνας κατά μία χαραγή.

Αξία βήματος ψηφίου: η αλλαγή του μετρούμενου μεγέθους προκαλώντας την μετατόπιση της βελόνας κατά μία μονάδα. (σχήμα 5.)



Σχήμα : Ένδειξη κλίμακας (Keller Eberhard, Kilgus Roland, Klein Wolfgang, Ott Rudolf,τεχνολογία κατασκευής εργαλείων & καλουπιών, τόμος ΙΙ, Ευρωπαϊκές και τεχνολογικές εκδόσεις 1998)

5.1.4. Μέθοδοι μέτρησης

Στην **άμεση** μέτρηση γίνεται σύγκριση του μετρούμενου μεγέθους με ένα πρότυπο ή ενός αντικειμένου, πιστό αντίγραφο του προτύπου, τέτοιες μετρήσεις γίνεται με ένα παχύμετρο, χάρακας, κτλ.

Στην **έμμεση** μέτρηση γίνεται ο υπολογισμός μίας τιμής εν συναρτήσει μίας άλλης, δηλαδή μέσω της μέτρησης ενός άλλου φυσικού μεγέθους. Τέτοια μέτρηση μπορεί να θεωρηθεί το μέγεθος της ταχύτητας με τον τύπο $u = \frac{x}{t}(\frac{m}{sec})$ ή ακόμα η μέτρηση κροσσών συμβολής που είναι αποτέλεσμα των φωτεινών κυμάτων μίας γυάλινης πλάκας.

Στην **αναλογική** μέτρηση, μια κινητή βελόνα κινείται ή στρέφεται συνήθως πάνω σε μία κλίμακα μονάδων και τιμών. Η συνεχής αναλογική μεταβολή του μεγέθους τείνει να περιστρέψει την βελόνα αναλογικά, σύμφωνα με το επιτρεπτό όριο μέτρησης του οργάνου. Τέτοιες μετρήσεις ονομάζονται όσες λαμβάνονται από μετρητικό ρολόι.

Στην **ψηφιακή** μέτρηση, ο μελετητής δεν έχει την δυνατότητα παρακολούθησης της αλλαγής τιμής, αφού το αποτέλεσμα του μετρούμενου μεγέθους απεικονίζεται με ψηφία στην οθόνη του οργάνου, όπως στον φωτοηλεκτρικό επαφέα.

5.2. Μηχανικά μετρητικά όργανα

5.2.1. Μεταλλικοί κανόνες- χάρακες

Οι μεταλλικοί κανόνες χρησιμοποιούνται ευρέως στον χώρο των μετρήσεων. Ο βαθμός ακριβείας τους είναι ο χαμηλότερος από τα υπόλοιπα όργανα μέτρησης.

Κατασκευάζονται από ανθρακούχο χάλυβα και για καλύτερη αντοχή πολλοί κανόνες επιχρωμιώνονται. Επίσης, παράγονται και από ανοξείδωτο χάλυβα που δεν σκουριάζουν και αντέχουν στην φθορά για περισσότερο διάστημα. Οι κανόνες που είναι κατασκευασμένοι από πλαστικό ή ύφασμα, δεν είναι μεγάλης ακρίβειας και χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένες εργασίες.

Το σχήμα τους είναι ορθογωνικό, εγκάρσια της διατομής και η σχέση του πάχους με το πλάτος είναι 1:5. Η επιφάνεια είναι λεία δίχως γεωμετρικές ελλείψεις ώστε να μην υπάρχουν αποκλίσεις. Ο σκοπός χρήσης τους, καθορίζει και την βαθμονόμηση που θα είναι χαραγμένη ή σχεδιασμένη επάνω του. Η χάραξη των παράλληλων γραμμών που αντικαθιστούν τις μονάδες τέμνουν κάθετα το ένα άκρο του κανόνα ώστε να είναι ευκρινή το αποτέλεσμα και η τύπωση των αριθμών βρίσκεται κάτω από τις χαραγές. Αρκετοί τύποι κανόνων φέρουν δύο διαφορετικές κλίμακες βαθμονόμησης στις δύο πλευρές ή ακόμη και στις δύο όψεις.

Η χάραξη των χαραγών ενός κανόνα πραγματοποιείται σε ειδικά μηχανήματα, με σκοπό την επιτρεπτή αποφυγή σφαλμάτων και να μη ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια ανοχών των αντίστοιχων πρότυπων ράβδων. Οι ράβδοι είναι τυποποιημένοι από το National Bureau of Standards.

Οι βαθμίδες ακριβείας είναι δυο, από τις οποίες η ποιότητα της βαθμίδας ΙΙ συγκριτικά με την βαθμίδα Ι κατατάσσεται χαμηλά. Οι τύποι των κανόνων που ανήκουν στην βαθμίδα Ι, η βαθμονόμηση ξεκινά σε απόσταση από το άκρο του αντικειμένου. Αντίθετα, στην βαθμίδα ΙΙ, ως σημείο μηδενισμού είναι το άκρο του κανόνα. Η παραπάνω διαφορά κάνει σαφή των διαχωρισμό των δύο τάξεων.

Το μήκος τους φτάνει μέχρι τα 2m αλλά οι πιο εύχρηστοι είναι εκείνοι των 300mm ή 12΄΄. Οι μεταλλικοί κανόνες του μετρητικού συστήματος βαθμονομούνται σε χιλιοστά ενώ οι κανόνες κατά το αγγλοσαξονικό σύστημα αναγράφοντα σε κλασματικές υποδιαιρέσεις 1/8΄΄, 1/16΄΄, 1/32΄΄ ή 1/64΄΄, δηλαδή σε δεκαδικές υποδιαιρέσεις 0,1΄΄, 0,025΄΄ ή 0,01΄΄. Στον ίδιο κανόνα δύναται να αναγράφονται και τα δύο συστήματα.

Οι συνηθισμένες διατομές είναι Η, U ή Χ. Η βαθμονόμηση των κανόνων γίνεται με ισαπέχουσες χαραγμένες γραμμές. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα επιτρεπτά σφάλματα της

απόστασης μιας χαραγής της κλίμακας από την αρχική σε σχέση με την ονομαστική διάσταση που θα έπρεπε να είχε.

Είδος κανόνα	Διατομή	Πλάτος χαραγής	Επιτρεπτό σφάλμα
Πρότυπος	H	1-3μm	$\pm (2\mu m + \frac{1}{500.000})$
Σύγκρισης	H - U - X	3-7μm	$\pm (5\mu m + \frac{1}{200.000})$
Ελέγχου	Τετραγωνική	20-40 μm	$\pm (10\mu m + \frac{1}{100.000})$
Εργασία Κατηγ. I	Ορθογωνική	70-100 μm	$\pm (20\mu m + \frac{1}{50.000})$
Εργασία Κατηγ. II	ορθογωνική	100-150 μm	$\pm (20\mu m + \frac{1}{20.000})$

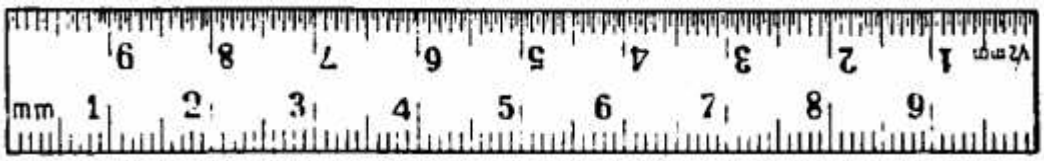
Η χρήση των μεταλλικών κανόνων είναι αρκετά εύκολη και για αυτό τον λόγο γίνονται εύκολα σφάλματα κατά την χρήση τους σε μία μέτρηση.

Για να αποφευχθούν λάθη και αποκλίσεις από το αποτέλεσμα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα:

- Καλό είναι να αποφεύγεται η μέτρησης μήκους από το σημείο μηδέν του κανόνα αλλά να επιλέγεται μία άλλη υποδιαίρεση, συνήθως το 10mm ή 100mm, επειδή η αρχή του κανόνα μπορεί να έχει υποστεί φθορά, γεγονός που δημιουργεί κάποιο σφάλμα στο αποτέλεσμα.
- Σωστή επιλογή κανόνα (κοινού, στενού, εύκαμπτου, μικρού μήκους με παρέκταμα) ανάλογα με την μέτρηση που πρέπει να ληφθεί.
- Ποια είναι η σωστή τοποθέτησή του ώστε το αποτέλεσμα να είναι σωστό.
- Ποια βαθμονομία θα πρέπει να επιλεχτεί ώστε, να υπάρχει έλεγχος με παραδεκτή ακρίβεια η ανάγνωση της διάστασης.
- Η οπτική γωνία του μελετητή με τον κανόνα θα πρέπει να είναι 90°.

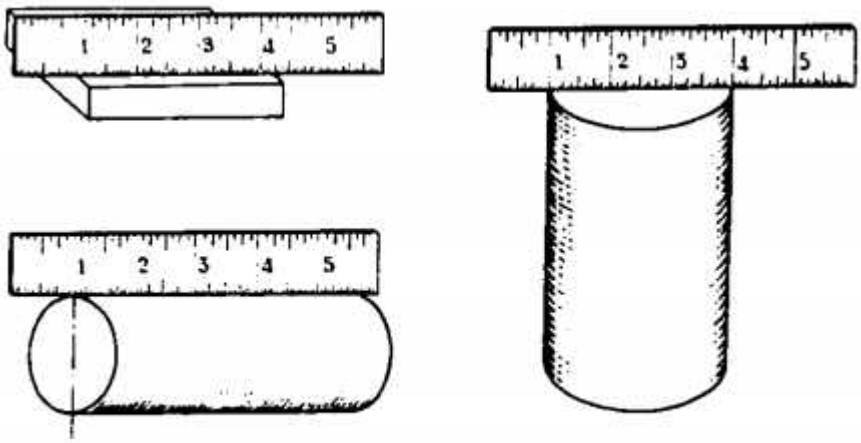
- Τα μεταλλικά όργανα μέτρησης μήκους εύκολα χάνουν την ορθότητα τους λόγω εμφάνισης των φαινομένων διαστολής και συστολής, όταν ξεπερνά τους 20°C και δε φυλάσσεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχει ορίσει ο κατασκευαστής.

Ο μεταλλικός κανόνας χρησιμοποιείται στον έλεγχο της επιπεδότητας των επιφανειών που έχουν υποστεί κατεργασία με την λίμα. Τοποθετείται η λίμα κάθετα στην επιφάνεια και παρατηρώντας την φωτεινή γραμμή που δημιουργείται από την ακμή του, κρίνεται με το μάτι εάν είναι ισοπαχή σε όλο το μήκος ή εάν είναι ανισοπαχή. Ο καλύτερος τρόπος ελέγχου επιπεδότητας είναι με μαχαιρωτό κανόνα.



Κανόνας των 10cm

Εικόνα 5.1.: (Σ. Λοπρέστη, Γ. Μπάχα, Μηχανουργική Τεχνολογία τόμος ΙΙ, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1977)



Μέτρηση κομματιών με κανόνα

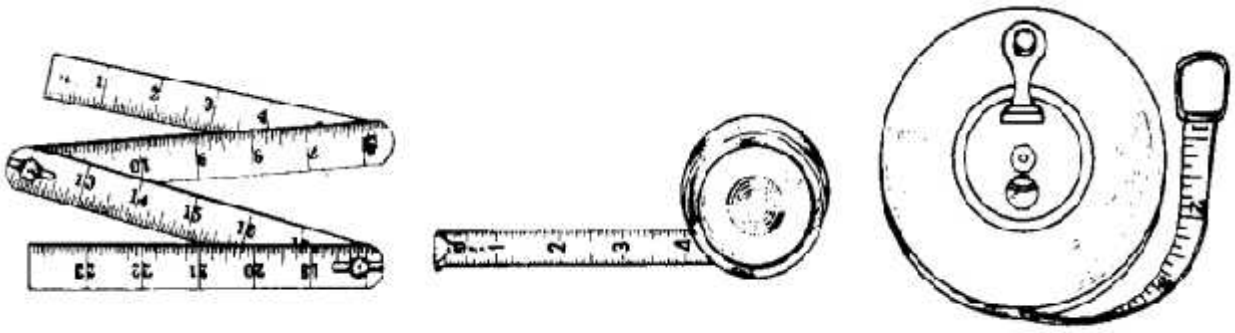
Εικόνα 5.2.: (Σ. Λοπρέστη, Γ. Μπάχα, Μηχανουργική Τεχνολογία τόμος ΙΙ, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1977)

Τα αρθρωτά μέτρα είναι μια παραλλαγή των κανόνων και κατασκευάζονται από αλουμίνιο ή χάλυβα. Χρησιμοποιούνται, συνήθως, κατά την κοπή ξύλου ή σε μετρήσεις που δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια.

Στις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η χρήση του κανόνα, για παράδειγμα μέτρηση μεγάλων μηκών ή για μέτρηση μεγάλων καμπύλων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης η λεγόμενη μετροταινία. Έχουν την μορφή περιελισσόμενες ταινίες μέσα σε ειδική θήκη.

Κατασκευάζονται από χάλυβα και έχουν επάνω τους χαραγμένες τις μονάδες του μέτρου ή της υάρδας. Η μετροταινία ή κορδέλα κυκλοφορεί στο εμπόριο σε μεγάλα μήκη που σπάνια χρησιμοποιεί ο μηχανολόγος.

Ιδιαίτερη προσοχή κατά την χρήση της μετροταινίας είναι ο τρόπος μέτρησης. Κατά την μέτρηση, η μετροταινία πρέπει να είναι παράλληλη με την μετρούμενη ακμή που θα μετρηθεί και να είναι τεντωμένη, σε διαφορετική περίπτωση το αποτέλεσμα θα είναι εσφαλμένο.



(α) πτυσσόμενη (β) στρεπτή (κοινώς μέτρο) (γ) κορδέλα

Εικόνα 5.3.: (Σ. Λοπρέστη, Γ. Μπάχα, Μηχανουργική Τεχνολογία τόμος ΙΙ, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1977)

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΝΟΝΩΝ

Έπειτα από κάθε χρήση του κανόνα, είναι αναγκαίος ο καθαρισμός του και ο έλεγχος φθοράς του. Η επάλειψή του με βαζελίνη δίχως οξέα βοηθάει στη συντήρηση του. Η φύλαξη του σε ειδική θήκη του επιτρέπει την αποφυγή φθοράς των διαιρέσεων, της οξείδωσης του και την αλλοίωση του μήκους του. Σύνηθες φαινόμενο είναι η κάμψη μίας μετροταινίας κατά την χρήση. Το συγκεκριμένο όργανο θεωρείται ακατάλληλο για μέτρηση. Περιοδικά επιβάλλεται να ελέγχονται ως προς βαθμό ακριβείας τους και της φθοράς τους, εάν διαπιστωθεί φθορά μεγαλύτερη των επιτρεπτών ορίων επιβάλλεται η αλλαγή του οργάνου θέτοντας το ακατάλληλο για μετρήσεις.

5.2.2. Παχύμετρα

Βασικό και απαραίτητο μετρητικό όργανο ενός τεχνίτη είναι το παχύμετρο. Οι μετρήσεις γίνονται γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια απ’ ότι με τον κανόνα. Βρίσκεται σε κάθε μηχανουργείο, βιοτεχνία και γενικά σε οποιονδήποτε χώρο όπου γίνονται μετρήσεις.

Κατασκευάζονται από σκληρό και ανοξείδωτο χάλυβα, υψηλών προδιαγραφών που αυξάνει το όριο ζωής τους, μειώνεται η διάβρωση και μένει ανέπαφη η ακρίβεια των βαθμονομήσεων. Οι οδηγοί για την κίνηση του κινητού μέρους και οι σιαγόνες που απαρτίζουν το όργανο έχουν υποβληθεί σε θερμική επεξεργασίας σκλήρυνσης για την απόκτηση αντοχής στην τριβή.

Η ακρίβεια του αποτελέσματος μίας μετρούμενης τιμής με παχύμετρο, εξαρτάται από την βαθμονόμηση της κλίμακας αλλά επίσης και από την σχεδίαση των δύο σωμάτων που το αποτελούν. Τα ράμφη του οργάνου που έρχονται σε επαφή με το αντικείμενο πρέπει να είναι παράλληλα και κάθετα στον άξονα του παχυμέτρου. Στα επιστημονικά παχύμετρα, η ακρίβεια μέτρησης είναι εφικτό να φτάνει έως είναι 0,02mm ή 0,001΄΄. Ο λόγος αυτός το καθιστά στην κατηγορία των πιο απαραίτητων οργάνων ενός τεχνίτη. Η συναρμογή του κινητού με του σταθερού μέρους είναι ένας κύριος παράγοντας για την ακρίβεια του οργάνου.

Τα παχύμετρα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, όπως όλα τα όργανα μέτρησης, για να μη χάνουν την ακρίβεια τους. Κατά καιρούς γίνεται έλεγχος της ακρίβειας τους με την βοήθεια των πρότυπων πλακιδίων. Φυλάσσονται σε θήκη για να μην έρχονται σε επαφή με άλλα εργαλεία.

Οι κανόνες και οι βερνιέροι είναι βαθμονομημένοι ή σε mm ή σε ίντσες ή μπορεί να φέρουν και τις δύο κλίμακες.

Μία ίντσα (in ή ΄΄) ισοδυναμεί με 25,4 mm

Στο μετρητικό σύστημα χρησιμοποιούνται παχύμετρα με ακρίβεια 1/10mm (0,1 mm), 1/20 mm (0,05 mm) και σπανιότερα 1/50 mm (0,02 mm). Στο αγγλοσαξονικό σύστημα παρουσιάζονται δύο στάθμες ακριβείας, δηλαδή 1/128΄΄ και 0,001΄΄.

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΒΕΡΝΙΕΡΟΥ

Τα παχύμετρα βερνιέρου οφείλουν την ονομασία τους στον γάλλο Pierre Vernier, που επινόησε την δημιουργία δύο εφαπτόμενων πλακών με υποδιαιρέσεις της κλίμακας μέτρησης για τη μέτρηση μήκους.

Η μία πλάκα παραμένει σταθερή και ονομάζεται «κύρια κλίμακα» και η δεύτερη είναι κινητή και ονομάζεται «κλίμακα βερνιέρου».

Στη σταθερή κλίμακα είναι χαραγμένες παράλληλες και ισαπέχουσες οι υποδιαιρέσεις του ορισμένου μήκους ανάλογα με το σύστημα μονάδων που εκπροσωπεί.

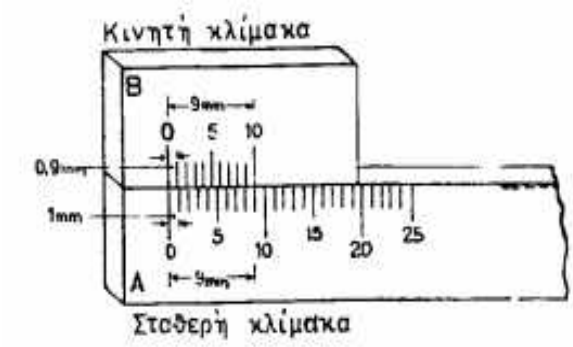
Έστω ότι το μήκος μιας υποδιαίρεσης στην κύρια κλίμακα είναι 1 μονάδα, επομένως 10 mm. Στην κλίμακα του βερνιέρου, μήκος ίσο με 9 μονάδες της κύριας κλίμακας διαιρείται σε 10 ίσα μέρη. Η κάθε υποδιαίρεση στην κλίμακα του βερνιέρου έχει μήκος ίσο με 9/10 (0.9) μονάδες, δηλαδή κατά 0,1 mm μικρότερη. Το σημείο αναφοράς από όπου αρχίζουν οι υποδιαιρέσεις είναι το σημείο μηδέν.

Εάν μετατοπιστεί η κινούμενη πλάκα προς τα δεξιά, ώστε η γραμμή 1 της συγκεκριμένης πλάκας να συμπέσει με την γραμμή 1 της σταθερής πλάκας, η κλίμακα θα μετακινηθεί κατά 0,1 mm.

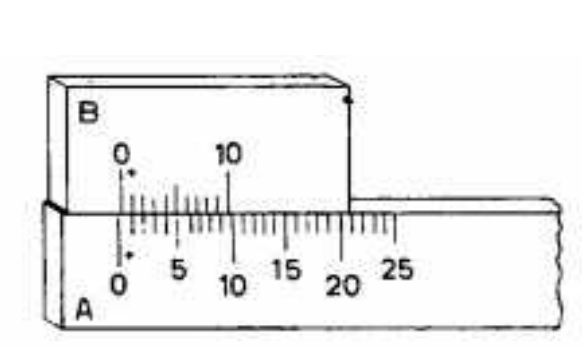
Εάν μετατοπιστεί περισσότερο η κινητή πλάκα κατά την δεξιά κατεύθυνση, ώστε η γραμμή 4 της κινητής πλάκας να συμπέσει με την γραμμή 4 της σταθερής πλάκας, τότε πρέπει η κλίμακα της δεύτερης πλάκας να προχώρησε κατά 4/10 του χιλιοστόμετρου.

Στο τέταρτο σχήμα η γραμμή 9 της κινητής πλάκας συμπίπτει με την γραμμή 9 της σταθερής, επομένως η κινητή πλάκα μετατοπίστηκε κατά 9/10 mm, κ.ο.κ.

Επομένως, με τον συνδυασμό των δύο κλιμάκων κατορθώνεται να προσδιοριστούν τα δέκατα του χιλιοστομέτρου, με προφανή αποτέλεσμα την υψηλή ακρίβεια μίας μέτρησης.

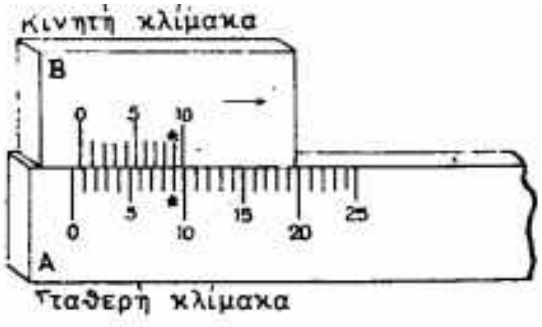


Ένδειξη μηδέν



Βερνιέρος με ένδειξη 0,1mm

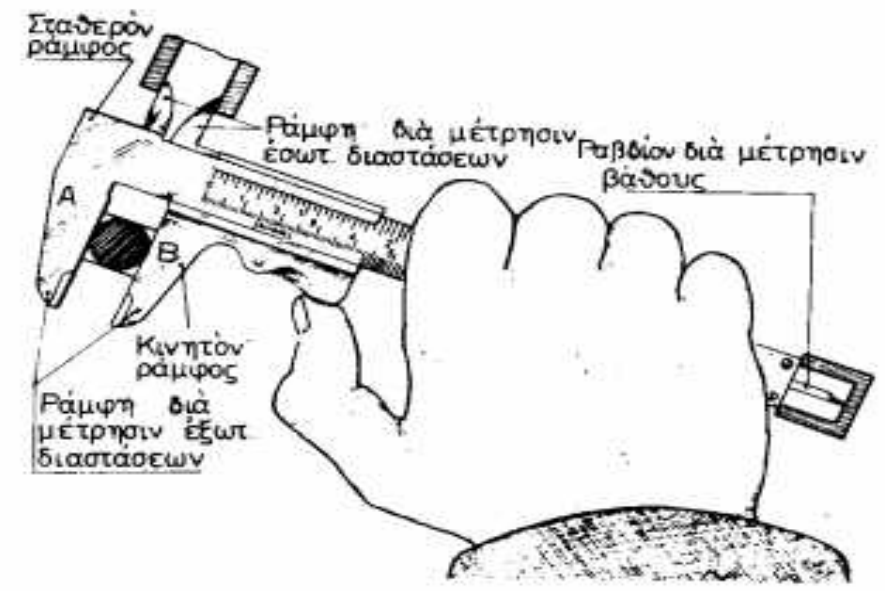
Ένδειξη 0,4mm



Ένδειξη 0,9mm

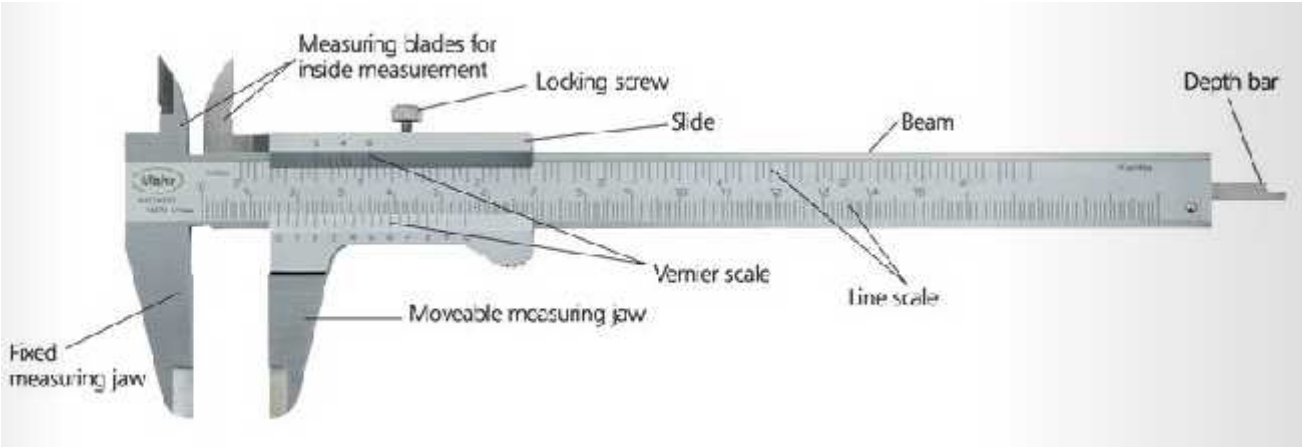
Περιγραφή του οργάνου

Το παχύμετρο αποτελείται από δύο μέρη, το κινητό και το σταθερό. Το σταθερό μέρος αποτελείται από έναν κανόνα, φέροντας υποδιαιρέσεις της κλίμακας του μέτρου ή της ίντσας ή και των δύο, και το άκρο του καταλήγει σε δύο διαμετρικά αντίθετα ράμφη, ονομαζόμενες και σιαγόνες. Το κινητό μέρος αποτελείται από δύο διαμετρικά αντίθετα ράμφη, επίσης, προς τα ράμφη του σταθερού. Επάνω στο κινητό μέρος είναι χαραγμένη η κλίμακα του βερνιέρου σε χιλιοστόμετρα ή σε ίντσες ή και των δύο. Στο σταθερό μέρος είναι ενσωματωμένη μία ράβδος για την μέτρηση του βάθους. Μετατοπίζεται με την κίνηση του κινούμενου στελέχους. Στην περίπτωση αυτή το παχύμετρο τοποθετείται κάθετα στην επιφάνεια της οπής με την μικρή εγκάρσια ακμή του στελέχους. Κατόπιν απομακρύνεται ο βερνιέρος έως ότου η προεξέχουσα ράβδος να έλθει σε επαφή με τον πυθμένα της οπής. Η ανάγνωση της μέτρησης γίνεται όπως και στις υπόλοιπες περιπτώσεις.



Σχήμα 5.4.: (Ίδρυμα Ευγενίδου, Μηχανουργική Τεχνολογία, Αθήνα 1977)

Σύνηθες και απαραίτητο εξάρτημα ενός παχυμέτρου είναι ο ασφαλιστικός κοχλίας που βρίσκεται στο κινητό μέρος. Με την ύπαρξη του αποφεύγεται η μετακίνηση του κινητού μέρους από το μέγεθος της μέτρησης. Με την βοήθεια του κλειδώματος των σιαγόνων είναι η εύκολη και επαναλαμβανόμενη μέτρηση τεμαχίων για σύγκριση μήκων. Παρ' όλα αυτά δε πρέπει να θεωρηθεί ρυθμιστής σύγκρισης, δεδομένου ότι είναι κατώτερης αξιοπιστίας από τους εξειδικευμένους μετρητές ορίων.



Εικόνα 5.5.:(http://www.mahr.com/en/Contact/General-Catalog/)

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΧΥΜΕΤΡΟΥ

Το παχύμετρο, όπως όλα τα εργαλεία ακολουθούν μία πορεία συντήρησης για την αξιοπιστία τους στις μετρήσεις. Έπειτα από κάθε χρήση φυλάσσεται σε ειδική θήκη για αποφυγή καταστροφής από άλλα εργαλεία που ίσως προκαλέσουν ζημιά και από τις συνθήκες του χώρου. Επιβάλλεται ο καθαρισμός του και η επάλειψη με βαζελίνη σε περίπτωση που το όργανο μείνει για μεγάλο διάστημα δίχως να χρησιμοποιηθεί. Στο παχύμετρο πρέπει να ελέγχεται ως προς την παραλληλία των σιαγόνων.

Ο έλεγχος παραλληλισμού των σιαγόνων γίνεται αρχικά με την επαφή τους στην θέση μηδέν και στη συνέχεια τοποθετώντας το όργανο μπροστά από μια φωτεινή δέσμη, μελετώντας το πάχος της φωτεινής δέσμης που εμφανίζεται από τον αρμό του κλεισίματος.

Σημεία προσοχής κατά την χρήση παχυμέτρου

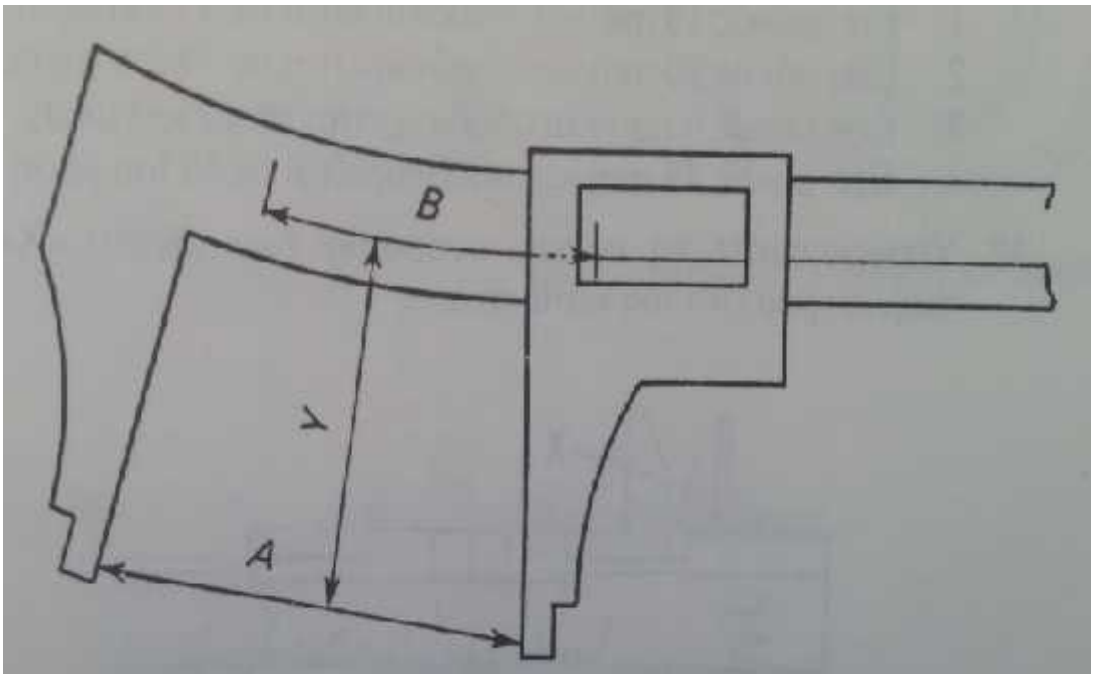
Χρήση του παχυμέτρου είναι οι μετρήσεις εσωτερικών και εξωτερικών διαστάσεων με διάφορους βαθμούς ακριβείας. Η πίεση των σιαγόνων ρυθμίζεται από τον μελετητή χωρίς να έχουν έναν μηχανισμό ασφαλείας. Για τον παραπάνω λόγο είναι πολύ επιρρεπή το λύγισμα των άκρων και του στελέχους, με αποτέλεσμα η ένδειξη του παχυμέτρου να είναι μικρότερη από την πραγματική. Επίσης με την προσθήκη μεγαλύτερης δύναμης από την αναγκαία, το αποτέλεσμα θα είναι μικρότερο από την πραγματική τιμή του αντικειμένου.

Χρήσιμοι κανόνες για την αποφυγή σφάλματος είναι να αποφεύγεται η εφαρμογή μεγάλης πίεσης των σιαγόνων κατά την μέτρηση, το αντικείμενο να τοποθετείται όσο πιο οντά γίνεται στο στέλεχος, κατά την ανάγνωση ο παρατηρητής θα πρέπει να κάνει ανάγνωση του αποτελέσματος

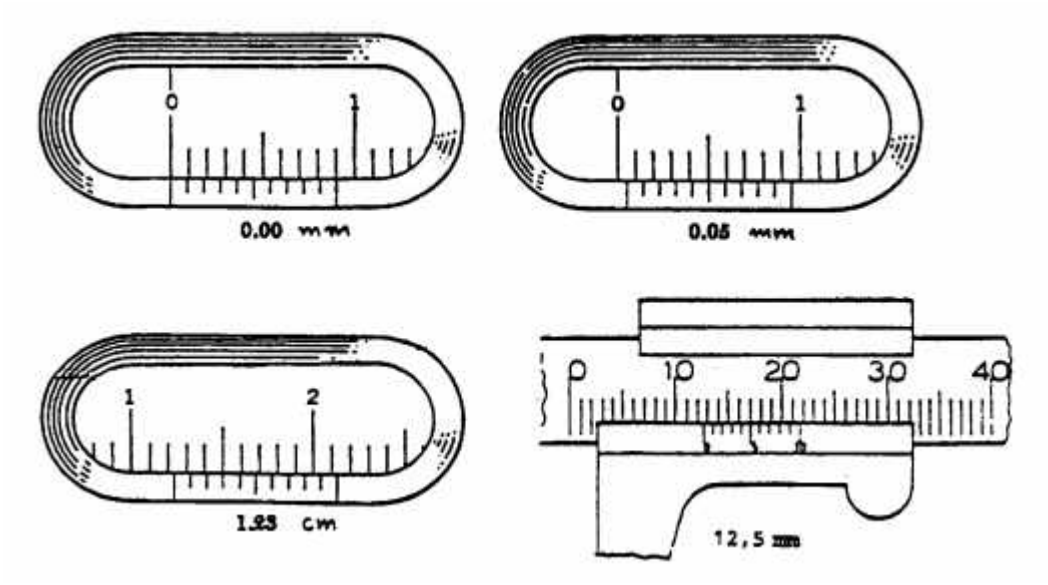
κάθεται και όχι από πλάγια γωνία και οι ακμές του αντικειμένου να μην εφάπτονται στις γωνίες των σιαγόνων αλλά στις ακμές τους.

Τα επιτρεπόμενα λάθη των παχυμέτρων δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Μήκος μέτρησης	Επιτρεπόμενο λάθος σε μmγια βερνιέρο	
	0,1	0,2
0	75	20
100	80	22
200	85	24
300	90	26
500	100	30
1000	125	40
1500	150	50



Σχήμα 5.6.: (Παύλος Δημητρίου, Γεώργιος Λάμπρου, Μηχανουργική Τεχνολογία για την Δ’ τάξη, τόμος Α, Κύπρος 1983)



Σχήμα 5.7.: Παραδείγματα μετρήσεων με παχύμετρο

ΠΑΧΥΜΕΤΡΟ ΜΕ ΜΕΤΡΗΤΙΚΟ ΡΟΛΟΙ

Παχύμετρο με μεγάλη ακρίβεια παρουσιάζουν εκείνα με μετρητικό ρολόι. Στην θέση της κλίμακας του βερνιέρου είναι τοποθετημένο ένα μετρητικό ρολόι που στηρίζεται στο μηχανισμό οδοντωτού κανόνα και οδοντωτού τροχού. Η ευθύγραμμη κίνηση του κινητού στελέχους μεταδίδεται στο μετρητικό ρολόι.

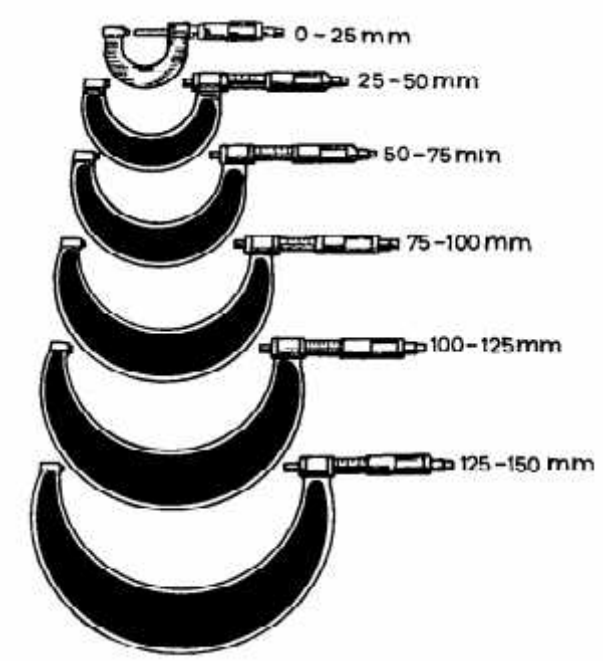
Ο βαθμός ακριβείας στο συγκεκριμένο όργανο εξαρτάται από τον βαθμό ακριβείας που έχει το ρολόι. Αν για παράδειγμα, το ρολόι έχει βαθμό ακριβείας 0,002mm, αυτός θα είναι κ αι ο βαθμός ακριβείας του οργάνου.

Η διαδικασία ανάγνωσης της τιμής είναι παρόμοια με το απλό παχύμετρο, με την διαφορά ότι τα χιλιοστόμετρα θα εμφανιστούν στο ρολόι. Ο αριθμός των υποδιαιρέσεων που εμφανίζεται με το άνοιγμα των σιαγόνων σε συνάθροιση με τον αριθμό που εμφανίζεται στο ρολόι, λαμβάνεται η τελική τιμή του μετρούμενου μήκους.

Εικόνα 5.8.: (http://www.mahr.com/en/Contact/General-Catalog/)

5.2.3. Μικρόμετρα

Τα μικρόμετρα χρησιμοποιούνται για μετρήσεις μήκους με αποτέλεσμα μεγαλύτερης ακρίβειας έναντι των παχυμέτρων. Η ακρίβεια αυτή μπορεί να φτάσει 0.01mm για το μετρητικό σύστημα ενώ για μικρόμετρα του αγγλοσαξονικού συστήματος το 0.001΄΄ ή ακόμη και 0.0001΄΄ με χρήση κατάλληλου βερνιέρου.



Τα μικρόμετρα τα συναντάμε σε διάφορα μεγέθη, ενδεικτικά 0-25mm, 25-50mm, 50-75mm, κ.ο.κ. ή 0-1΄΄, 1-2΄΄, 2-3΄΄ κ.ο.κ. Στα μεγαλύτερα μικρόμετρα όπως το 75-100mm ή ακόμα και του 1m, το αμόνι δεν εφάπτεται με τον αξονίσκο. Η μηδενική ένδειξη μπορεί να ελεγχθεί με τη τοποθέτηση πρότυπων ράβδων ενός δεδομένου μεγέθους και σε περίπτωση απόκλισης να ρυθμιστεί με ειδικό κλειδί.

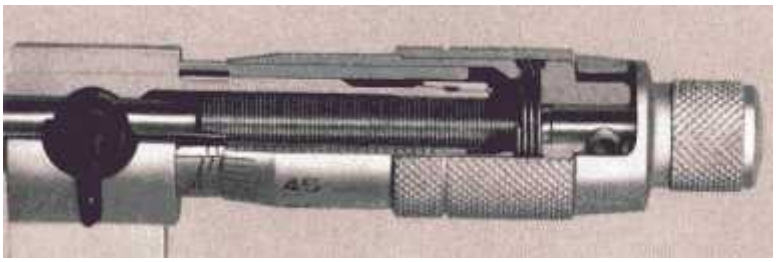
Στο εμπόριο κυκλοφορούν ποικίλα είδη μικρομέτρων, ειδικά για διάφορες χρήσεις. Τέτοια είναι, μικρόμετρο για τη μέτρηση ελασμάτων, μικρόμετρο για τη μέτρηση εξωτερικών αυλακιών, μικρόμετρο για μέτρηση πάχους χαρτιών-δερμάτινων και πλαστικών υλικών, μικρόμετρο με ράμφη για μέτρηση εσωτερικών και εξωτερικών διαστάσεων, μικρόμετρο για τη μέτρηση της διαμέτρου των κοχλιών, μικρόμετρο με αριθμητήρα, μικρόμετρο με μετρητικό ρολόι, κλπ.

Σχήμα 5.9.: (Ίδρυμα Ευγενίδου, Μηχανουργική Τεχνολογία, Αθήνα 1977)

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ

Η λειτουργία του μικρόμετρου βασίζεται στην αρχή της σχετικής κίνησης ενός κοχλία και του περικοχλίου του. Υπάρχουν δύο κλίμακες στο όργανο. Η κύρια κλίμακα εμφανίζεται σταδιακά με την περιστροφή του τυμπάνου και είναι βαθμονομημένη σε mm. Η δευτερεύουσα κλίμακα είναι

χαραγμένη περιμετρικά του τυμπάνου και η απόσταση μεταξύ των δύο χαραγών είναι 0,001mm.

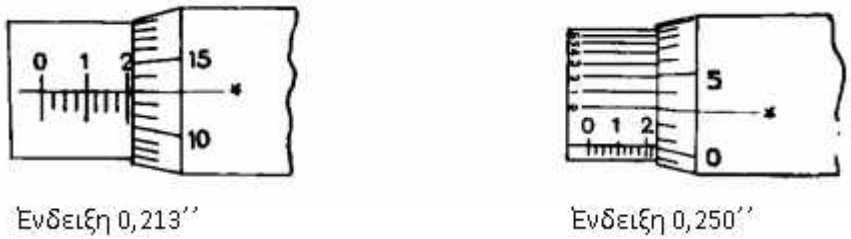


Σχήμα 5.10

Οι μετρήσεις λαμβάνονται μεταξύ του αμονιού (σταθερός επαφέας) και του αξονίσκου (κινητός επαφέας). Ο αξονίσκος είναι συνέχεια ενός μικρομετρικού κοχλία. Το βήμα κοχλία είναι 0,5mm ώστε για μια πλήρη περιστροφή του τυμπάνου, ο αξονίσκος να μετακινείται κατά 0,5mm. Η περιφέρεια του τυμπάνου είναι διαβαθμισμένη σε 50 ίσα μέρη. Κάθε μία περιστροφή που προκαλείται είτε στρέφοντας τον κοχλία δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα, δίνει την τιμή 0,5mm, ώστε κάθε διαχωρισμός στο βαθμολογημένο τύμπανο να αντιπροσωπεύει 0,50:50=0,1mm.

Η πορεία μέτρησης ενός μήκους με το μικρόμετρο περιγράφεται παρακάτω. Αρχικά γίνεται η τοποθέτηση του αντικειμένου ανάμεσα στον κινητό και σταθερό επαφέα, έπειτα στρέφεται με την ρικνωμένη ασφαλιστικό περικόχλιο το τύμπανο έως ότου να φτάσει ο κινητός επαφέας την επιφάνεια του αντικειμένου. Μόλις έρθει σε επαφή, η σύσφιξη συνεχίζεται με τον κοχλία αντιτριβής ώστε να μην υπερβεί η καθορισμένη ροπή στρέψης.

Αφού ληφθεί η διάσταση με κανονική σύσφιξη του μικρομέτρου, παρατηρούνται ο αριθμός των χιλιοστών που έχει αποκαλυφθεί στον κυλινδρικό κανόνα από το βαθμονομημένο τύμπανο. Έπειτα, παρατηρείται ποια υποδιαίρεση από τις 50 που έχει το τύμπανο, συμπίπτει προς τη διαμήκη γραμμή του κυλινδρικού κανόνα, όπου μας δίνει και τα αναζητούμενα χιλιοστόμετρα. Ακολουθούν δύο παραδείγματα.

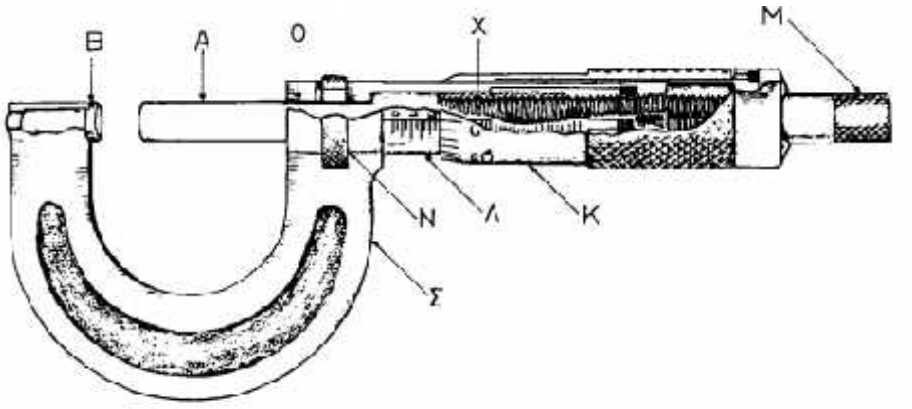


Σχήμα 5.11: (Ίδρυμα Ευγενίδου, Μηχανουργική Τεχνολογία, Αθήνα 1977)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ

Παρακάτω θα αναφερθούν αναλυτικά τα μέρη από τα οποία συντελείται ένα μικρόμετρο. Όπως θα παρατηθεί στο σχήμα, αποτελείται από εννέα κύρια μέρη, τα οποία είναι:

- Ο **πεταλοειδές στέλεχος συγκρατήσεως (Σ).** Το ένα μέρος καταλήγει στο σταθερό επαφέα (Β) και το άλλο άκρο στο κυλινδρικό τύμπανο με εσωτερική κοχλίωση (Χ), βήματος 0,5mm. Ο εξωτερικός κύλινδρος φέρει 25 υποδιαιρέσεις, σε απόσταση μεταξύ τους 1mm. Η κάθε υποδιαίρεση είναι χωρισμένη σε δύο ίσα μέρη, επομένως ο κύλινδρος φέρει 50 υποδιαιρέσεις με απόσταση της κάθε χαραγής 0,5mm.
- Ο **κινητός φορέας (Α)**. Ο κινητός φορέας ή ο αξονίσκος είναι προέκταση του κοχλία (Χ).
- Το **ρικνωτό ασφαλιστικό περικόχλιο (Ν)**.Σκοπός του είναι η σταθεροποίηση του κινητού επαφέα (Α). όταν μετρηθεί ένα μήκος και ασφαλιστεί το περικόχλιο δε δύναται να περιστραφεί ο κινητός άξονας με αποτέλεσμα μιας εσφαλμένη τιμή.
- Ο **έλεγχος αναστολέα (καστάνια συσφίξεως) (Μ)**. Απαραίτητος και πολύ χρήσιμος αφού σκοπός του είναι να πιέζεται το αντικείμενο στους επαφέων με μικρή και ορισμένη πίεση προς αποφυγή παραμορφώσεων και προστασίας του μικρομέτρου.
- Ο **σταθερός επαφέας – πέλμα.**



ΣΗΜΕΙΑ ΠΡΟΣΟΧΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ

Οι μετρήσεις με το μικρόμετρο είναι μεγαλύτερης ακριβείας από τις μετρήσεις με το παχύμετρο, επομένως είναι πιο ευαίσθητα κατά την χρήση τους. Σφάλματα που εμφανίζονται κατά την μέτρηση με μικρόμετρο είναι η συνισταμένη των εξής παραγόντων:

- Ο μη παραλληλισμός των επαφέων.
- Το σφάλμα κάμψης του πετάλου.
- Το σφάλμα βαθμονόμησης του αξονίσκου και του τυμπάνου.

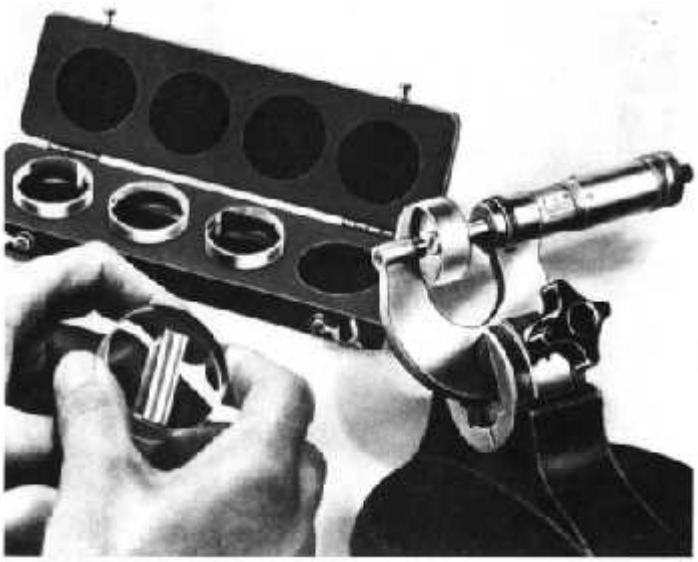
- Η λανθασμένη ανάγνωση του αποτελέσματος. Η ένδειξη θα πρέπει να λαμβάνεται κατ’ ευθείαν εμπρός και όχι πλαγίως.
- Η λανθασμένη τοποθέτηση του τεμαχίου στο όργανο. Η σωστή τοποθέτηση θεωρείται όταν εφάπτονται οι επιφάνειες των επαφέων με το τεμάχιο και όχι οι γωνιές του.
- Η ακούσια πίεση στο ασφαλιστικό περικόχλιο κατά το βίδωμα ή κατά το ξεβίδωμα. Με την ύπαρξη της περισσοτέρας δύναμης, όπως αναφέρθηκε και στο παχύμετρο, η ένδειξη του αποτελέσματος είναι λανθασμένη και υπάρχει ο κίνδυνος της φθοράς του οργάνου. Ο μηχανισμός αναστολέα έχει σαν στόχο την προστασία του οργάνου από το συγκεκριμένο αίτιο φθοράς του. Δηλαδή, περιστρέφοντας τον μηχανισμό αυτόν, περιστρέφεται μαζί και ο κάλυκας. Μόλις οι επαφείς έρθουν σε επαφή με το τεμάχιο κάτω από μία συγκεκριμένη πίεση, ο αναστολέας μπαίνει σε λειτουργία και περιστρέφεται ελεύθερα δίχως να πιέζει άλλο τους επαφείς.
- Η κακομεταχείριση του οργάνου από τον χρήστη.
- Η κακή συντήρηση ή η μη υπάρχουσα, φθείρει το όργανο.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ

Για την συντήρηση των μικρομέτρων επιβάλλεται σχολαστική συντήρηση για τον λόγο ότι ανήκουν στην κατηγορία οργάνων με σχετικά υψηλή ακρίβεια και επίσης ότι το κόστος τους είναι σχετικά ψηλό.

Ο κύριος έλεγχος λαμβάνει χώρα στον κινητό και σταθερό φορέα με την βοήθεια υάλινου πλακιδίου για την παραλληλότητα τους. Χρησιμοποιώντας υάλινα πλακίδια διαπιστώνεται η επιπεδότητα των επιφανειών μέτρησης του οργάνου. Ο έλεγχος του κοχλίου - περικοχλίου γίνεται δια μέσω μέτρησης πρότυπου πλακιδίου, αφού έχει ρυθμιστεί το όργανο στην ένδειξη του μηδενός.

Η σχολαστική επικάλυψη τους με φαρμακευτική βαζελίνη είναι αναγκαία στην περίπτωση απραξίας του οργάνου για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τέλος, ο τεχνίτης έπειτα από κάθε χρήση του οργάνου, επιβάλλεται να τοποθετεί το μικρόμετρο μέσα στην ειδική θήκη για την προστασία του από την διάβρωση, χτυπήματα, κλπ.



Σχήμα

Διαπίστωση παραλληλότητας ή μη των επιφανειών μέτρησης.

Σχήμα

Λόγω απουσίας ύπαρξης κροσσών στην επιφάνεια, θεωρείται ότι έχει άρι- στη επιπεδότητα. Σε ελαφριά κλίση του προτύπου υάλου, παρατηρείται να διαγράφονται επάνω ευθύγραμμοι κροσσοί που ισαπέχουν.

Σχήμα

Παρατηρείται η ύπαρξη ενός κροσσού, επομένως η επιπεδότητα είναι σχετικά καλή.

Βαθμός επιπεδότητας =±0,15μ.

Σχήμα

Παρατηρείται η ύπαρξη έξι κροσσών, επομένως η ποιότητα επιπεδότητα της επιφάνειας είναι κακή. Η επιφάνεια είναι κυρτή. Βαθμός επιπεδότητας =±0,75μ.

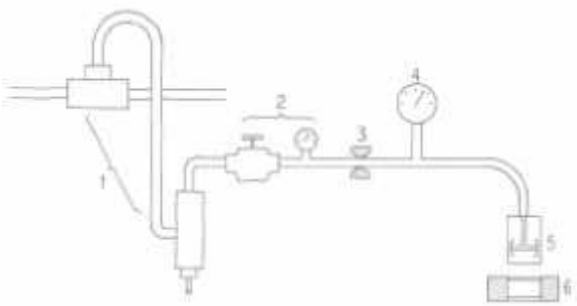
Πηγή: Σπυρ. Λοπρέστη, Γεωργ. Μπάχα, Τεχνολογία Μηχανουργικών Μετρήσεων, Αθήνα 1977

5.3 Πνευματικά μετρητικά όργανα

Στα πνευματικά μετρητικά όργανα σαν μέσο μέτρησης χρησιμοποιούν τον πεπιεσμένο αέρα που διαφεύγει μέσα από στόμιο. Η πίεση του αέρα είναι ρυθμιζόμενη ανάλογα με το τοίχωμα του ελεγχόμενου αντικειμένου. Τα όρια που κυμαίνεται η πίεση του πεπιεσμένου αέρα είναι από 0.75bar έως 2bar. Στα τεμάχια με λεπτό τοίχωμα, η πίεση είναι P<0,1bar για αποφυγή παραμόρφωσης τεμαχίου και αποφυγή σφάλματος ενώ σε τεμάχια με παχύ τοίχωμα η πίεση του οργάνου μπορεί να φτάσει έως και P≥0,5bar. Η εμπόδιση της διαφυγής του πεπιεσμένου αέρα από την αντιστεκόμενη επιφάνεια, δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η τοποθέτηση του αντικειμένου θα πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο κοντά στο όργανο, με τέτοιο τρόπο που να μην υπερβαίνει την ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση S μεταξύ της επιφάνειας και του ακροφύσιου, για παράδειγμα, για την μέτρηση μιας οπής Φ 80 H7, η ελάχιστη απόσταση είναι 60μm. Η ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα θα πρέπει να είναι σταθερή όπως και η πίεση καθ’ όλη την διάρκεια της διαδικασίας.

5.3.1. Μέθοδος μετρήσεως

Τα πνευματικά όργανα όσο και να διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον σχεδιασμό ή τον τρόπο λειτουργίας τους, απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργίας τους είναι σαφώς ο πεπιεσμένος αέρας. Όλα απαρτίζονται από μία συσκευή ρυθμίσεως, μία μετρητική συσκευή που θα δείξει το αποτέλεσμα σε ένα όργανο ένδειξης, το οποίο μπορεί να έχει την μορφή στήλης ή με δείκτη, μια περιοριστική και μία ρυθμιστική βαλβίδα πιέσεως και τέλος από τον μετρητικό υποδοχέα, ο οποίος έχει την μορφή άξονα ή βλήτρο με ακροφύσιο και συνδέεται μέσω σωλήνα αέρος με το όργανο ένδειξης. Στο παρακάτω σχήμα υπάρχει η αναπαράσταση ενός πνευματικού συστήματος.



σχήμα : Αναπαράσταση ενός πνευματικού συστήματος:
(1) συνεχής παροχή πεπιεσμένου αέρα, (2) ρυθμιστική βαλβίδα, (3) μετρητική συσκευή, (4) όργανο ένδειξη, (5) μετρητικός υποδοχέας, (6) ρυθμιστικό πρότυπο.

Εικόνα 5.1.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία και συντήρησης του πνευματικού οργάνου είναι η παροχή καθαρού αέρα. Ο εισερχόμενος αέρας θα πρέπει να διασφαλίζεται από σκόνη, υγρασία και λιπαντικές ουσίες. Σε αντίθετη περίπτωση, η πρόσμιξη των παραπάνω ουσιών θα

προσκολληθούν στα φίλτρα του οργάνου με αποτέλεσμα να μειωθεί σε σημαντικό βαθμό η αξιοπιστία και η αποτελεσματικότητα μέτρησής του.

Τοποθετώντας μία αυτοτελή συσκευή φιλτραρίσματος και αφύγρανσης πριν το πνευματικό όργανο, απομονώνοντας και απομακρύνοντας αποτελεσματικά τα διάφορα αιωρούμενα σωματίδια, την υγρασία και το λιπαντικό που ενδέχεται να περιέχει ο αέρας, συντηρεί και επιτυγχάνει την ομαλή λειτουργία του οργάνου. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να γίνει μπορεί να αποτρέψει μια κύρια πηγή σφάλματος.

Η ρύθμιση της πίεσης του οργάνου μπορεί να ελέγχεται από μία βαλβίδα τοποθετημένη στο σύστημα του πνευματικού οργάνου ως ανεξάρτητο τμήμα. Ως επί το πλείστον τα πνευματικά όργανα διαθέτουν ένα μανόμετρο που είναι σε επαφή ή ακολουθεί την βαλβίδα για ακριβέστερο έλεγχο της πίεσης. Σαφώς η μονάδα ελέγχου διαφέρει ως προς τον πραγματικό σχεδιασμό της εξαρτώμενο από τον κατασκευαστή και το μοντέλο του πνευματικού οργάνου. Στα βασικά λειτουργικά μπορεί να προστεθούν και άλλα εξαρτήματα όπως είναι οι βαλβίδες εξαέρωσης και ρυθμιστικές αντίστοιχα, ανάλογα με τον κατασκευαστή όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Κύριο συστατικό στο αισθητήριο τμήμα του συστήματος είναι τα στόμια διαφυγής του αέρα, τα οποία ως επί το πλείστων παρέχονται από τις οπές των ακροφυσίων ανάλογα με το μέγεθός τους. Τα ακροφύσια κατά την διάρκεια μέτρησης για την αποφυγή λανθασμένης τοποθέτησης τους από το σημείο αναφοράς αλλά και για λόγους προστασίας, τοποθετούνται είτε σε σταθερές συσκευές είτε σε φορητές μετρητικές κεφαλές, οι οποίες έχουν την δυνατότητα της άμεσης αποβολής του αέρα στην επιφάνεια του αντικειμένου έχοντας τον ρόλο του εγχυτήρα ή επίσης η αποβολή του αέρα μπορεί να περάσει από ένα ενδιάμεσο συστατικό του οργάνου βρισκόμενο σε μηχανική επαφή με την μετρούμενη επιφάνεια του αντικειμένου.

5.3.2 Ταχύτητα απόκρισης πνευματικού οργάνου

Κατά την διάρκεια μιας εφαρμογής η μετρητική κεφαλή βρίσκεται σε κάποια απόσταση από τη μονάδα ελέγχου, που σε συνδυασμό με την συμπιεστότητα του αέρα, δεν εφίσταται η στιγμιαία απόκριση αποτελέσματος στη μονάδα ελέγχου. Οποιανδήποτε εναλλαγή στην διάσταση του αντικειμένου θα γίνει αισθητό στην ροή της του αέρα μέσω του ακροφύσιου, όμως οι διαφοροποιήσεις αυτές γίνονται αντιληπτές προς την αντίθετη κατεύθυνση έπειτα από ένα μικρό χρονικό διάστημα. Το χρονικό διάστημα δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις ίδιο. Οι παράγοντες που το επηρεάζουν το χρονικό διάστημα μεταξύ της αίσθησης και της ένδειξης είναι ο τύπος του

μετρητικού συστήματος, ο σχεδιασμός της μονάδας ελέγχου και το μήκος του προσαγωγού ανάμεσα στο ακροφύσιο και στο όργανο ένδειξης.

Ακόμη μεγαλύτερη καθυστέρηση στην απόκριση του αποτελέσματος, εμφανίζουν τα πνευματικά όργανα που βασίζονται στο φαινόμενο της αντίθλιψης. Αυτό οφείλεται στο ότι ο συμπιεσμένος αέρας συμβάλλει στην καθυστέρηση μετάδοσης πληροφορίας των διάφορων εναλλαγών που παρατηρούνται στην επιφάνεια του μετρούμενου αντικειμένου. αναμενόμενη καθυστέρηση είναι όταν λαμβάνονται διακοπτόμενες μετρήσεις όπου η πίεση του αέρα μειώνεται πολύ περισσότερο από το πεδίο ενδείξεων.

Η ταχύτητα απόκρισης ενός κοινού πνευματικού οργάνου που λειτουργεί με μανόμετρο είναι αρκετά ικανοποιητική. Ο χρόνος που μεσολαβεί από την αίσθηση των διάφορων διαφοροποιήσεων του μεγέθους έως την εμφάνιση της ένδειξης είναι περίπου ένα δευτερόλεπτο.

Με σκοπό την μείωση του χρόνου απόκρισης των πνευματικών οργάνων που λειτουργούν σύμφωνα με το φαινόμενο αντίθλιψης, έχουν αναπτυχθεί και κυκλοφορούν στο εμπόριο πολλές συσκευές, κάποιες από αυτές καταγράφονται παρακάτω σύμφωνα με την λειτουργία τους:

- Πρακτικά ασυμπίεστο υγρό που γίνεται πλήρωση του θαλάμου Bourdon. Με το υγρό μειώνεται η ταχύτητα του αέρα και η αντίθλιψη του αναπτύσσεται έτσι ώστε να δώσει τις σωστές ενδείξεις.
- Βοηθητική συσκευή που αντισταθμίζει την έξοδο του αέρα και παύει να είναι σε λειτουργία αυτόματα όταν κατά την διάρκεια της μέτρησης αναπτυχθεί μία συγκεκριμένη τιμή αντίθλιψης.
- Περίβλημα κάλυψης της μετρητικής κεφαλής κατά την μη χρήση της και περιορίζει την διαφυγή αέρα. Το οποίο διαθέτει ελατήριο.
- Βοηθητική συσκευή υψηλών ταχυτήτων αέρα με σκοπό να ισοσταθμίζει τις προσαυξήσεις της ταχύτητας στο σύστημα.
-

Το σημείο έναρξης ενδείξεων ρυθμίζεται με την χρήση βαλβίδας εξαέρωσης. Η εφαρμογή μίας κλίμακας που να εμφανίζει δύο οριακές τιμές αποτελεί μία κοινή πρακτική για των έλεγχο των οριακών διαστάσεων του οργάνου. Το ονομαστικό οριακό μέγεθος που αντιπροσωπεύει ένα ρυθμιστικό πρότυπο που συμπίπτει με το μέλος ένδειξης που διαθέτει το όργανο, όπως δείκτης, πλωτήρας ή στάθμη ύδατος, αποτελεί τρόπος ρύθμισης του σημείου μηδέν της κλίμακας. Για παρόμοιες προσαρμογές σπάνια επιλέγεται σαν οριακό σημείο η ένδειξη του μηδενός και γι’ αυτό αναφέρεται ο ορισμός «ρύθμιση του μηδενός».

Χρησιμοποιώντας σα μέσω μια βοηθούμενη βαλβίδα ακριβείας, γίνεται η προσαρμογή του συστήματος ενίσχυσης με σκοπό να επιτευχθεί ένα πεδίο ένδειξης. Οι βαθμονομήσεις του πεδίου ενδείξεως που διαθέτει η κλίμακα αντιστοιχεί με το εύρος του μεγέθους των ρυθμιστικών προτύπων.

Έπειτα από την ολοκλήρωση των ρυθμίσεων, προβλέπεται ότι θα παραμείνουν ανέπαφες για αρκετό χρονικό διάστημα, που εξαρτάται από το σχεδιασμό και την καλή κατάσταση του οργάνου. Η συνέπεια των ρυθμίσεων ελέγχεται από τις αποκλίσεις των ενδείξεων που θα εμφανιστούν και αν είναι μέσα σε επιτρεπτά όρια για τη συγκεκριμένη μέτρηση που εξήχθηκε. Μπορεί να γίνουν περιοδικοί έλεγχοι με την χρήση ρυθμιστικών προτύπων για την σταθερότητα των ρυθμίσεων, καθοριζόμενες από την εμπειρία, κυρίως στο σημείο μηδέν. Σε περίπτωση που κριθεί αναγκαίο γίνεται έλεγχος και στο σύστημα ενίσχυσης σήματος.

5.3.3. Αισθητήρια μέλη πνευματικών οργάνων

Κύρια λειτουργία του αισθητηρίου είναι να ανιχνεύει στη μετρούμενη διάσταση τις διαφοροποιήσεις του μεγέθους της και να τις σηματοδοτεί, μετατοπίζοντας την ροή του αέρα στο ανώτερο σημείο. Περίπτωση που εμφανίζονται τέτοιες μεταβολές είναι όταν τοποθετείται η μετρούμενη επιφάνεια πλησιέστερα στο άνοιγμα του αέρα, ελαχιστοποιώντας την διατομή διαφυγής του αέρα, μικρότερης από εκείνη του στομίου.

Η διασφάλιση ελεγχόμενου διαστήματος μεταξύ ακροφυσίου και επιφάνειας, επιτυγχάνεται με τα αισθητήρια μέλη. Περιπτώσεις όπως η μέτρηση αρκετά μικρής οπής, διεξάγονται με την άμεση καθοδήγηση του αέρα από το ακροφύσιο στην οπή, δημιουργώντας την παρεμπόδιση ροής αέρα.

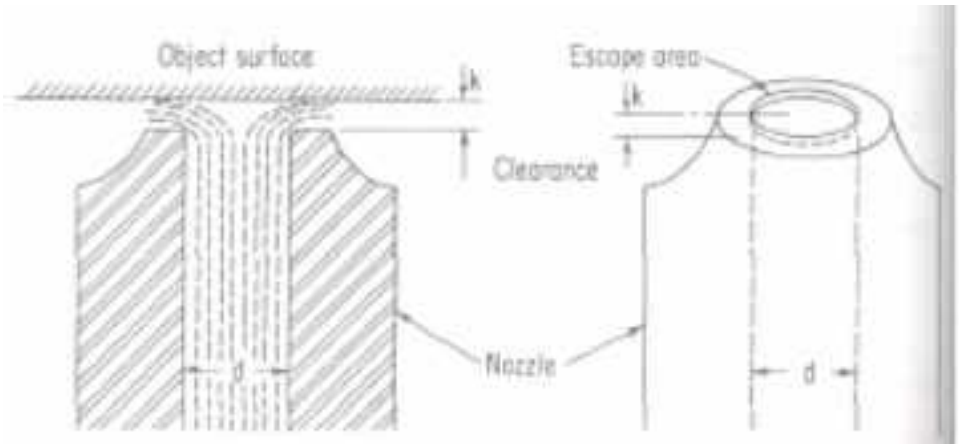
Μπορεί να θεωρηθεί ως ένας δακτύλιος μία διατομή μίας επιφάνειας που μένει ανοιχτή για τον αέρα, όταν μπροστά από το ακροφύσιο τοποθετηθεί κάθετα μία επίπεδη επιφάνεια παρεμπόδισης. Η διάμετρος του δακτυλίου θα είναι ίση με το μέγεθος της οπής του ακροφυσίου και το πάχος θα οριστεί από την ενδιάμεση απόσταση της επιφάνειας και του ακροφυσίου. Η αποτελεσματική μείωση της επιφάνειας διαφυγής του αέρα επιτυγχάνεται εάν η απόσταση μεταξύ επιφάνειας και ακροφυσίου είναι μικρότερη από το άνοιγμα του ακροφυσίου.

Η θεωρητική οριοθέτηση του αποτελεσματικού περιορισμού της ισοδύναμης διόδου γράφεται μαθηματικά:

$k \cdot d \cdot \pi = d^2 \frac{\pi}{4}$, όπου k = απόσταση μεταξύ επιπέδου εξόδου αέρα από το ακροφύσιο και της επιφάνειας παρεμπόδισης.

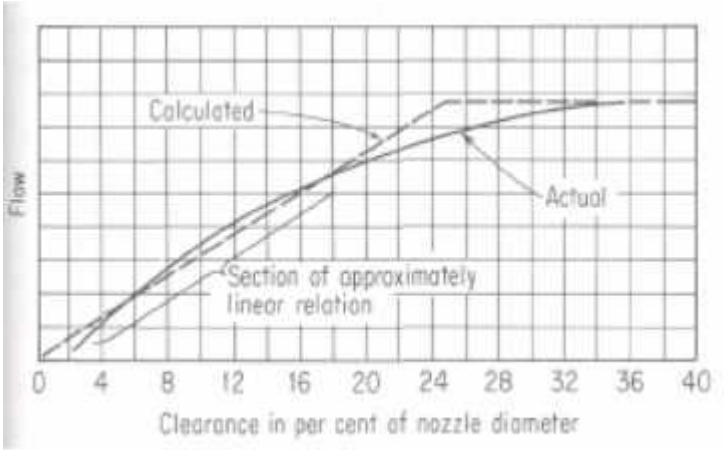
d = διάμετρος οπής του ακροφυσίου

Λύνοντας ως την απόσταση, η εξίσωση γίνεται $k = \frac{d}{4}$



Εικόνα 5.2.: απεικόνιση των μεγεθών d, k ενός εγχυτήρα κατ την διάρκεια μίας μέτρησης.

Η παραπάνω υπολογισμένη τιμή δε βρίσκεται πλήρως σε γραμμική σχέση με τον πραγματικό αποτελεσματικό περιορισμό της ελεύθερης διαφυγής του αέρα. Λόγω τριβής, όσο η απόσταση d πλησιάζει το επίπεδο περάσματος, η ροή μειώνεται πολύ περισσότερο από την τιμή υπολογισμού. Η απόκλιση ενός μίας αποτελεσματικής απόστασης περιορισμού κυμαίνεται 1% ή 2%, όπου η απόσταση περιορισμού περιέχει το 15% με 20% της διαμέτρου του ακροφυσίου. Απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5.3. :Διάγραμμα υπολογίσιμης και πραγματικής ταχύτητας του αέρα διαφυγής στην ουσιαστικά γραμμική καμπύλη παροχών.

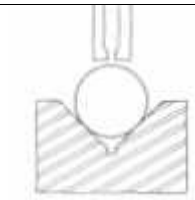
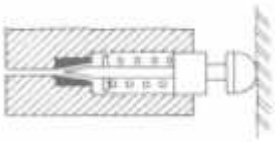
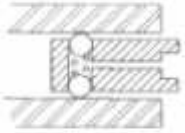
5.3.3.1. Αρχές λειτουργίας βασικών αισθητήριων μελών πνευματικών οργάνων

Η επιτυχή λειτουργία των αισθητήριων κατορθώνεται με την δίοδο του πεπιεσμένου αέρα μέσω του στομίου της κεφαλής, πάντα ανάλογο με το μέγεθος της μετρούμενης διάστασης του αντικειμένου.

Ο περιορισμός είναι αποτέλεσμα του εμποδίου, το οποίο μπορεί να είναι η ίδια η μετρούμενη επιφάνεια που ψεκάζεται με τον αέρα διαφυγής απ’ ευθείας από τον εγχυτήρα αλλά επίσης μπορεί

να είναι αποτέλεσμα ένα ενδιάμεσο μέλος που χρησιμοποιείται σαν εμπόδιο. Η στιγμιαία θέση του εμποδίου με σε σχέση με το ακροφύσιο καθορίζεται από το μέγεθος του αντικειμένου που έρχεται σε επαφή για να μετρηθεί.

Επομένως, οι βασικές μέθοδοι ανίχνευσης στις πνευματικές μετρήσεις είναι δύο: α) άμεσα με την χρήση εγχυτήρων και β) έμμεση με τη χρήση επαφέα μέθοδος. Στον παρακάτω πίνακα περιέχει τις δύο μεθόδους, την αναπαράσταση τους και σε ποιες εφαρμογές κυρίως χρησιμοποιούνται.

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΊΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Άμεση ανίχνευση	Ένας εγχυτήρας		Παρομοιάζεται με τις συμβατικές μετρήσεις οργάνων και απαιτεί την τοποθέτηση του αντικειμένου στη θέση εργασίας.
	Πολλοί εγχυτήρες		Ικανό να αυτοευθυγραμμίζεται λόγω των πολλαπλών ακροφυσίων συνδυασμένο με τη μειωμένη απόσταση μεταξύ επιφάνειας και κεφαλής. Σε μεγάλες επιφάνειες δεν προσεγ-γίζει το μέγεθος.
Έμμεση ανίχνευση	Τύπου εμβόλου		Εμπόδια ελαφρά κεκλιμένα ή ουσιαστικά επίπεδα χρησιμοποιείται ο συγκεκριμένος τύπος που αντικαθιστά μια κωνική βαλβίδα και τοποθετείται μπροστά από τους εγχυτήρες.
	Τύπου με ελατήρια ελάσματος		Δυο χαλύβδινα ελάσματα συγκρατούν τα κουμπιά που καλύπτουν τα στόμια του σκελετού του οργάνου και οι εξωτερικές επιφάνειες τους, σχήματος σφαιρικό έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια του αντικειμένου. οι μεταβολές διαστασιολόγησης μεταφέρονται στο διάκενο του αέρα διαφυγής.
	Τύπου σφαιρικών επαφέων		Χρησιμοποίηση σφαιριδίων υπό τάση ελατηρίου για την επαφή και παρεμπόδιση. Χρησιμοποιούνται για άμεσες μετρήσεις απαιτείται ανίχνευση θετικής επαφής είτε λόγω τραχύτητας είτε λόγω διακοπτόμενης σχεδίασης.

Πίνακας 5.1: Βασικές μέθοδοι ανίχνευσης πνευματικών οργάνων

5.3.4. Εφαρμογές πνευματικών οργάνων γεωμετρικών συνθηκών

Το εύρος των εφαρμογών που παρουσιάζουν τα πνευματικά όργανα μπορούν να προσδιοριστούν με οδηγό των δύο παραμέτρων που εντάσσονται σε δύο παράγοντες. Ενυπάρχουσα δυνατότητα ανίχνευσης σήματος και μεγέθυνσης του και η δυνατότητα προσαρμογής του πνευματικού οργάνου σε μεγάλο πεδίο μετρητικής εφαρμογής. Ο στόχος των πνευματικών μετρήσεων, όπως και των υπόλοιπων ειδών μετρήσεων είναι η επιβεβαίωση των διαστάσεων τεμαχίων και η εκτίμηση της μέτρησης προς στην πραγματική τιμή καθώς και των γεωμετρικών καταστάσεων όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Κατάλληλη προσέγγιση στην εκτίμηση των εφαρμογών είναι η θεώρηση ενός δυναμικού πεδίου σα σημείο αναφοράς. Παρακάτω αναφέρονται χαρακτηριστικά παραδείγματα για τις διάφορες ομαδοποιήσεις των εφαρμογών σύμφωνα με αυτό το σύστημα αναφοράς δίχως να περιέχει όλες τις πιθανές εφαρμογές.

Το κάθε τεμάχιο δέχεται μία ποσότητα πεπιεσμένου αέρα ελεγχόμενο από το όργανο. Κάθε σημείο χωριστά απαιτεί διαφορετική πίεση αέρα εξαρτώμενο από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Επομένως τα σημεία διάχυσης και η καθοδήγηση του αέρα είναι μεταβλητές άμεσα σημαντικές στην προσαρμοστικότητα του οργάνου για τις συγκεκριμένες συνθήκες μέτρησης. Στο σχήμα 5.4. απεικονίζονται οι διαδρομές του αέρα και οι θέσεις των ακροφυσίων διάχυσης των παραδειγμάτων.

Για την μέτρηση εσωτερικών και εξωτερικών διαμέτρων χρησιμοποιούνται δύο εγχυτήρες που βρίσκονται σε αντεστραμμένες κατευθύνσεις με αποτέλεσμα να ενεργούν ως ένα κοινό κανάλι ροής αέρα. Με τον τρόπο αυτόν, το πνευματικό όργανο θα δείξει την πραγματική τιμή της διαμέτρου ανεξαρτήτων των μικρών μεταβολών θέσης του τεμαχίου λόγω της αντιστάθμισης των εγχυτήρων. (Σχ. 5.4.(α)).

Το μέσο μέγεθος υλικού μιας κυλινδρικής επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση πνευματικών οργάνων που ανιχνεύουν την αθροιστική επίδραση των εμποδίων μπροστά από κάθε εγχυτήρα λόγω των αυτό-αντισταθμιστικών ιδιοτήτων που διαθέτουν (Σχ. 5.4.(β)).

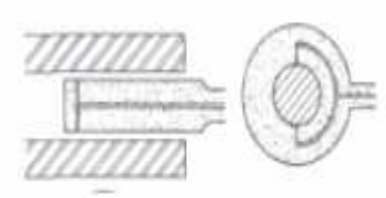
Με την ύπαρξη ενός μοναδικού εγχυτήρα που διατηρείται σε απόσταση (Α), θετικής κατεύθυνσης από ένα εξωτερικό επίπεδο αναφοράς ή διατηρείται σε απόσταση από μία επιφάνεια αναφοράς του ίδιου του τεμαχίου, επιτρέπεται η μέτρηση που απέχει από επίπεδο αναφοράς (Σχ. 5.4.(γ)).

Τα πνευματικά όργανα βρίσκουν εφαρμογή στον έλεγχο διάφορων εκτροπών από το ονομαστικό επίπεδο με την χρήση είτε μοναδικού εγχυτήρα είτε με φυσίγγιο αέρος, παράλληλο με το επίπεδο αναφοράς όσο ελέγχονται οι επίπεδες γεωμετρικές μορφές. Το σχήμα (Α) ελέγχεται η ομαλότητα επιφανειών και στο σχήμα (Β) η κυβικότητα (Σχ. 5.4.(δ)).

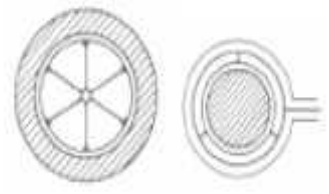
Συχνά παρατηρούνται άσκοπες μεταβολές της μορφής ή του μεγέθους ενός αντικειμένου δημιουργώντας πρόβλημα στην κατασκευή. Η ανίχνευση και η μέτρηση των παραπάνω γίνεται μέσω των πνευματικών οργάνων με ειδικές κεφαλές. Η διαδικασία γίνεται με σχετική περιστροφή ή γραμμική κίνηση του οργάνου και αντικειμένου ή απλή διείσδυση της μετρητικής κεφαλής (Σχ. 5.4.(ε)).

Πολλαπλές διαστάσεις προτιμάται να ελέγχονται συγχρόνως είτε βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο αναφοράς είτε όχι. Τοποθετούνται φυσίγγια αέρος κοντά στο τεμάχιο και οι ενδείξεις παρατηρούνται ταυτόχρονα σε ενδεικτικά όργανα που απέχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους (Σχ. 5.4.(στ)).

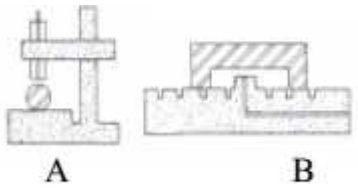
Καμπυλότητα μορφής που ίσως να έχει μια επιφάνεια μπορεί να ελεγχθεί με αντιτιθέμενους αισθητήρες τοποθετημένοι στην επιφάνεια. Οι αποκλίσεις των ανεξάρτητων εγκάρσιων διατομών από την πραγματική τους τιμή αναγράφονται σε ενδεικτικά όργανα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους (Σχ. 5.4.(ζ)).



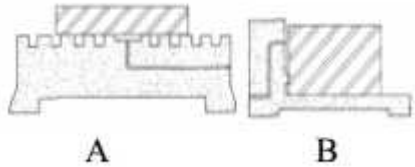
Εικόνα 5.4.(α)



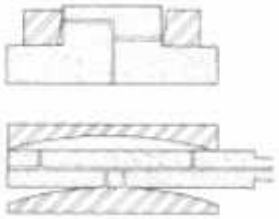
Εικόνα 5.4.(β)



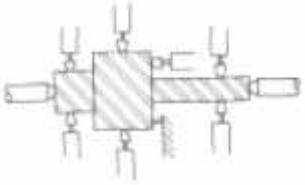
Εικόνα 5.4.(γ)



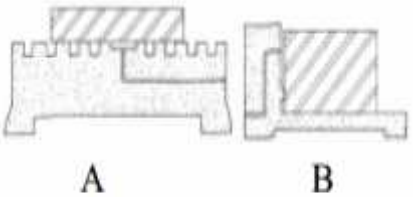
Εικόνα 5.4.(δ)

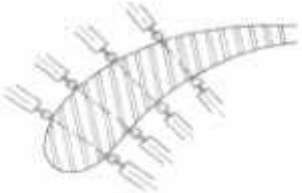


Εικόνα 5.4.(ε)



Εικόνα 5.4.(στ)





Εικόνα 5.4.(ζ)

5.3.5. Διαφοροποίηση των πνευματικών οργάνων

Τα ισχυρά πλεονεκτήματα που προσφέρουν αυτά τα όργανα αποδεικνύονται από το γεγονός ότι η σημερινή τεχνολογία τους είναι ίδια με εκείνη πριν τρεις ή τέσσερις δεκαετίες και παρ’ όλα αυτά οι μετρήσεις με πνευματικά όργανα είναι αποδεκτές από όλες τις βιομηχανίες μεταλλικών κατασκευών. Κατά προτίμηση επιλέγονται για μετρήσεις που επαναλαμβάνονται ή που διεξάγονται ακόμα και κατά την διάρκεια της παραγωγής, υπό μη ευνοϊκές συνθήκες για την απαιτούμενη ευαισθησία. Η γκάμα που μπορούν να καλύψουν τα πνευματικά όργανα είναι πολλή μεγάλη δίχως όμως κενά όπου είναι δύσχρηστες ή δεν διαθέτουν την απαραίτητα εγγύηση για το αποτέλεσμα.

Παρακάτω αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα που η εφαρμογή των οργάνων έχουν πλήρη επιτυχία ενώ δεν αναφέρονται καθόλου εφαρμογές που έχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα με άλλα όργανα μέτρησης. Η περιγραφή θα διαχωριστεί σύμφωνα με το χαρακτηριστικό της κάθε ομάδας και θα ολοκληρώνεται με παραδείγματα στη μετρητική διαδικασία.

Έλλειψη επαφής που διαθέτουν τα βασικά όργανα, εκρέουν πεπιεσμένο αέρα μέσω εγχυτήρων δημιουργώντας ένα διάκενο μεταξύ επιφάνειας του τεμαχίου και του αισθητήριου μέλους του οργάνου. Με την ύπαρξη διακένου δεν καταστρέφεται η επιφάνεια του τεμαχίου ακόμα και αν είναι από μαλακό υλικό. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιφάνειες που εμφανίζουν τραχύτητα ακόμα και εν κινήσει.

Έχουν στην διάθεση τους μέλη μη ολισθαίνοντα. Η λειτουργία των οργάνων δεν καθορίζεται από την άμεση επαφή αντικειμένων και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις έμμεσης επαφής η χρήση τους είναι περιορισμένη. Με την απουσία ολισθαίνων μελών απουσιάζει το φαινόμενο της τριβής κατά την μετατροπή των εντοπισμένων μετατοπίσεων σε αντίστοιχες μεταβολές της ροής πεπιεσμένου αέρα. Δίχως τριβή επιβραδύνεται η φθορά έως και μηδενίζεται και η αρχική ακρίβεια του οργάνου δεν επηρεάζεται με το πέρασμα του χρόνου.

Ο αυτόματος καθαρισμός της επιφάνειας από τον αέρα που αποβάλλουν οι εγχυτήρες στην επιφάνεια του αντικειμένου, το κατηγοριοποιούν στα όργανα που είναι λιγότερα ευαίσθητα στη σκόνη, στη βρωμιά, σε υγρά λίπανσης, υγρά λείανσης και πολτοποίησης.

Το μέγεθος των μετρητικών κεφαλών που κυκλοφορούν στο εμπόριο για τα πνευματικά όργανα πολύ μικρά σε σύγκριση με τα άλλα αισθητήρια μέλη των υπόλοιπων οργάνων μέτρησης. Το μικρό μέγεθος των εξωτερικών διαστάσεων ακροφυσίων επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση του οργάνου σε δύσβατες περιοχές και επίσης, το μέγεθός τους επιτρέπει την κοντινή τοποθέτηση αισθητήρων για πολλαπλές μετρήσεις.

Το πεδίο συστημάτων ενίσχυσης τους κυμαίνονται από 250 ÷ 20.000 φορές ενισχύσεις ή και μεγαλύτερες. Αυτό τους δίνει το προνόμιο να προσαρμόζονται σε ευρύ πεδίο διαφορετικών ζώνω ανοχών, χρησιμοποιώντας την ίδια ως επί το πλείστον βασική μονάδα ενίσχυσης, αλλάζοντας μόνο τα μέλη παρεμπόδισης της ροής και τις κλίμακες ένδειξης του οργάνου.

Η συνδεσμολογία των μετρητικών κεφαλών με τα ακροφύσια και των μονάδων ενίσχυσης και ένδειξης μέτρηση επιτρέπει την απομακρυσμένη τοποθέτηση του ενισχυτή και του ενδεικτικού οργάνου από την θέση μέτρησης. Η απομάκρυνση αυτή επιτρέπει την συνεπή και ακριβή παρατήρηση των ενδείξεων προστατεύοντας ταυτόχρονα το υπόλοιπο τα ευαίσθητα συστατικά του υπόλοιπου συστήματος.

Η ένδειξη που δείχνει ένα πνευματικό όργανο, συχνά με μικρή καθυστέρηση, είναι η στιγμιαία τοποθέτηση μιας θέσης της επιφάνειας τεμαχίου στον αισθητήρα. Η ταχύτητα απόκρισης του οργάνου μπορεί εύκολα να ενισχυθεί και να δείχνει στιγμιαίες τιμές ακόμα και αντικειμένων που μετακινούνται ή περιστρέφονται ή ακόμα και για αντικείμενα που μένουν στην παρούσα θέση για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Σε αυτοματοποιημένες μετρητικές διαδικασίες παρατηρείται συχνά η τελευταία κατάσταση.

Η ικανότητα προσαρμογής σε πολύπλοκες διαστασιολογικές μετρήσεις, εννοείται η διαδικασία ένωσης πολλών οργάνων ένδειξης σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Αυτό βρίσκει μεγάλη ανταπόκριση στην μονάδα παραγωγής όπου πρέπει να ελεγχθούν πολλές διαφορετικές διαστάσεις ταυτόχρονα. Τα ενδεικτικά όργανα είναι χρησιμοποιούν ως σημεία μηδενός όμοια προσαρμοσμένα για τις καταστάσεις του ονομαστικού μεγέθους με διαφορετικά επιτρεπτά όρια ανοχών.

Στα πνευματικά όργανα μπορούν να εισαχθούν και άλλες δυνατότητες. Κάθε σημείο στην επιφάνεια του αντικειμένου ενδείκνυται διαφορετική πίεση αέρα. Οι αναλογικές μεταβολές πίεσης αέρα μπορεί να γίνει αυτόματα στο εσωτερικό του οργάνου ή από ηλεκτρονόμο ώστε να υποστηρίξει αποτελεσματικά την διαδικασία. Πολλές λειτουργίες εκτελούνται από κατάλληλα εξοπλισμένα όργανα, τέτοιες είναι οι καταγραφές των μετρητικών τιμών, σηματοδοτήσεις συγκεκριμένων καταστάσεων μεταβολής διάστασης, η προσαρμογή των αποτελεσμάτων σε μια συνεχή σειρά, κλπ.

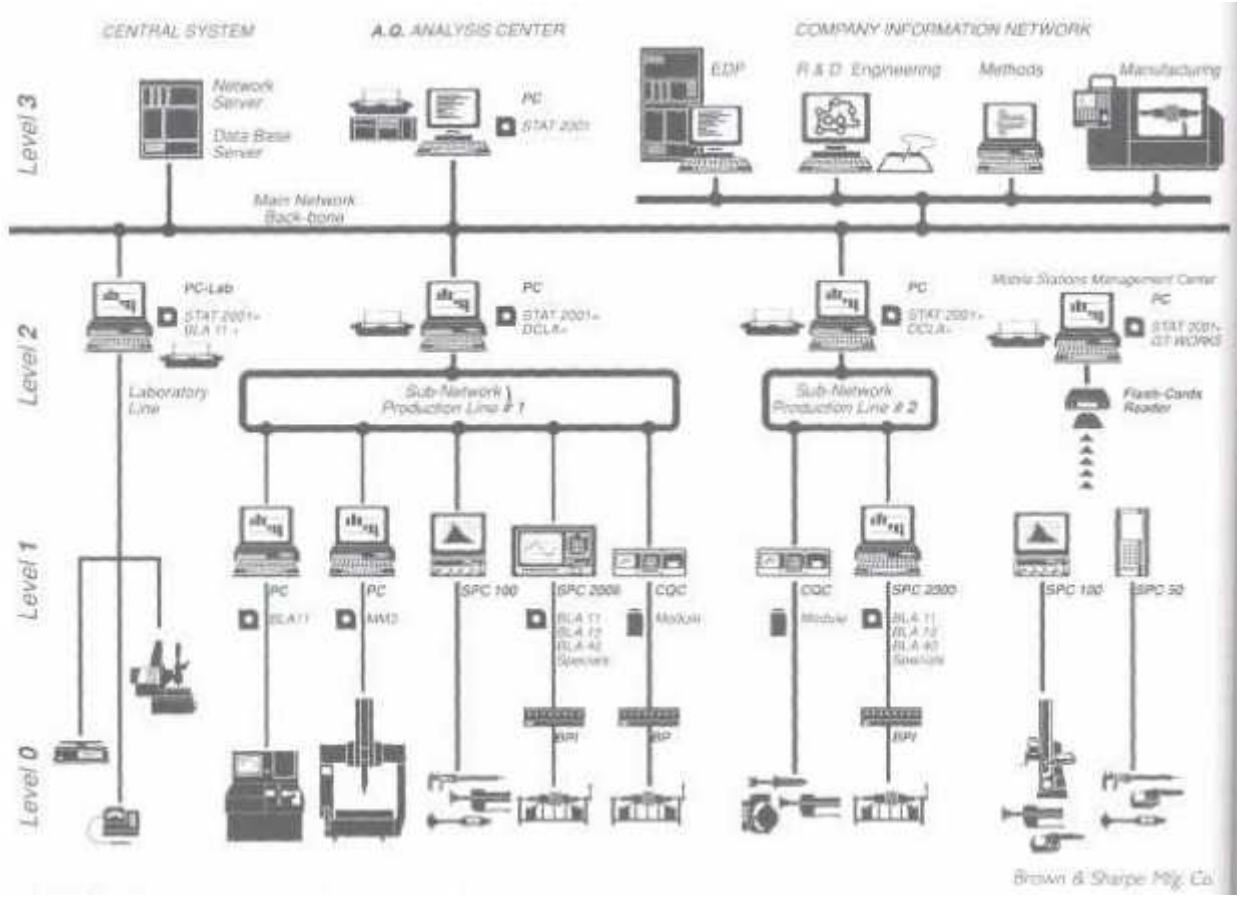
Το οικονομικό κόστος τους είναι αρκετά χαμηλό και συνυπολογίζοντας έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης λόγω ότι λειτουργούν με θεωρητική μηδενική τιμή είναι προσιτά προς αγορά. Η παρουσίαση ελαστικότητας προσαρμογής, τους επιτρέπει υψηλό βαθμό χρηστικότητας. Έχουν σχετικά απλό σχεδιασμό κατασκευής και μεγάλη ευελιξία στις ρυθμίσεις βαθμονόμησης και μεγέθους. Ο χρόνος ζωής τους είναι υψηλός αφού όπως αναφέρθηκε απουσιάζει η τριβή από το όργανο και αισθητήρες.

5.4. Ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης

Η εξέλιξη και η συμβολή των ηλεκτρονικών οργάνων στην Μετρολογία είναι δύσκολο να εκτιμηθεί τα τελευταία χρόνια. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή των κυκλωμάτων και η ανάπτυξη του hardware και software όσο και η πρόοδος στη σμίκρυνση των ηλεκτρονικών συστατικών συνεχώς αναπτύσσεται και χρησιμοποιείται ως ένα φυσικό επακόλουθο στον χώρο της βιομηχανίας.

Η ανίχνευση μεταβολής της διάστασης γίνεται με συνδυασμό μηχανικών και ηλεκτρονικών συστατικών. η χρησιμοποίηση μιας μεταβολής είναι για την πρόκληση μετατόπισης θέσης ενός αισθητήρα σε σχέση με την προηγούμενη θέση, δημιουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο ηλεκτρικά σήματα που στέλνονται ενισχυμένα σε οθόνες. Ηλεκτρονικά σήματα μπορούν αν δημιουργήσουν και μέθοδοι άνευ επαφής, στις οποίες οι μεταβολές παρουσιάζονται στην οθόνη ενός μετρητή ή με την μορφή μιας αναλογικής κλίμακας LCD. Ψηφιακά μπορεί να παρουσιαστεί η ένδειξη χρησιμοποιώντας LEDS ή LCD, βαθμονομημένη κλίμακα σε μονάδες μέτρου ή ίντσας.

Η ανάγκη για ηλεκτρικά όργανα δημιουργήθηκε όταν χρειάστηκε να πραγματοποιούν απειρο-ελάχιστες μεταβολές γραμμικών μετρήσεων σε μία βάση συγκρίσεων. Με την πάροδο των χρόνων η εξέλιξη έφερε συστατικά για εφαρμογή σε όργανα με προσαυξήσεις αλλά και σε όργανα απόλυτων τιμών. Τα παραπάνω συστατικά αποτελούν την βάση για ένα ολοκληρωμένο σύστημα ποιοτικού ελέγχου κατασκευών (Σχ. 5.5.)



Σχήμα 5.5. : συνοπτικό σχεδιάγραμμα ποιοτικού ελέγχου

5.4.1. Σύστημα λειτουργίας και βασικά συστατικά

Τα ηλεκτρονικά όργανα από λειτουργική άποψη, ανήκουν στα όργανα μέτρησης μήκους. Μετατρέπουν την μετατόπιση ή απόσταση σε αντίστοιχες μεταβολές ηλεκτρικού ρεύματος ή τάσης υποβοηθούμενα από ηλεκτρομηχανικούς μετατροπείς. Διάφορες φυσικές επιδράσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους μετατροπείς είναι:

Η ηλεκτρική χωρητικότητα μεταξύ των δύο πλακών μεταβάλλεται, η μία πλάκα είναι σταθερή ενώ η άλλη κινείται ελεύθερα λόγω κίνησης του αισθητηρίου του οργάνου.

Οι μηχανικές τάσεις καθορίζουν την αντοχή του καλωδίου, σύμφωνα με την αρχή μέτρησης τάσεων.

Οι μεταβολές του κινούμενου επαφέα μεταβάλουν την ηλεκτρική αντίσταση.

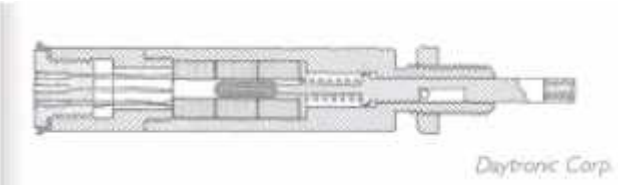
Οι διαφορετικές θέσεις που δημιουργούνται από ένα κινούμενο μαγνητικό σώμα προκαλούν μεταβολές της αυτεπαγωγής ή της αμοιβαίας επαγωγής.

Η κάμψη ενός πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου παράγει ηλεκτρικό ρεύμα.

5.4.1.1. Ηλεκτρονική λειτουργία οργάνου

Ο τύπος των σύγχρονων ηλεκτρονικών οργάνων που βρίσκει ευρέως εφαρμογή είναι ο γραμμικών μεταβολών διαφορικός μετατροπέας και είναι γνωστός στο εμπόριο με την ονομασία LVDT, συντόμευση των αρχικών της αγγλικής του ονομασία.

Στο σχήμα 5.4. απεικονίζεται η εγκάρσια τομή ενός LVDT. Παρατηρούνται τρία πηνία, ένα κύριο και δύο δευτερεύοντα που είναι συμμετρικά και ευθυγραμμισμένα. Μικρός μεταλλικός επαφές έρχεται σε επαφή με μη μεταλλική ράβδο και επιτρέπεται η αξονική κίνηση τους στο εσωτερικό του κυλίνδρου εκείνο που σχηματίζουν τα πηνία. Η ράβδος θεωρείται συσσωμάτωμα με το μετρητικό επαφέα και λαμβάνει χώρα στο κύλινδρο ακτινικά με ακρίβεια. Η ύπαρξη ενός ελατηρίου κρατάει την ράβδο σε αξονική θέση παράγοντας και τη δύναμη μέτρησης όταν ο μετρητικός επαφέας έρθει σε επαφή με την μετρούμενη επιφάνεια.



Σχήμα 5.6.: Εγκάρσια διατομή μετατροπέα τύπου LVDT

Ο μετρητικός επαφέας είναι εφοδιασμένος με έναν επίπεδο οδηγό με τριβέα και με ένα ελλειπτικό ελατήριο που του εξασφαλίζει την θέση του πυρήνα. Η ανάρτηση που συναντάται σε άλλους μετατροπείς είναι ραβδόγλυφα, χωρίς τριβές για τις παραπάνω λειτουργίες. Το σχήμα απεικονίζει την μηχανική διάταξη και όχι τα πραγματικά σχέδια μετρητικών κεφαλών, τα οποία διαφέρουν ανάλογα τον κατασκευαστή και τις εφαρμογές που είναι προορισμένο να εκτελέσει.

5.4.1.2. Μετρητικές κεφαλές

Το αισθητήριο άκρο του ηλεκτρονικού οργάνου έρχεται σε μηχανική επαφή με το σημείο της επιφάνειας που έχει επιλεχθεί για μέτρηση. Ο επαφέας είναι συνδεδεμένος με τη ράβδο συγκράτησης του πυρήνα (του LVDT) ή αποτελεί ακέραιο σώμα. Ο επαφέας περιέχεται στην κεφαλή και προσφέρει την απαραίτητη μαγνητική και μηχανική προστασία.

Η κατασκευή των μετρητικών κεφαλών που χρησιμοποιούντα στα ηλεκτρονικά όργανα, χωρίζονται σε τρεις βασικές μορφές και στη συνέχεια επιλέγεται για χρήση όποια κρίνεται κατάλληλη για τις συνθήκες της εκτελεσθείσας εφαρμογής.

α) Μετρητική κεφαλή τύπου ραβδόγλυφου (Σχ. 5.7.), παρέχει την ακριβέστερη καθοδήγηση στο μετρητικό φορέα χρησιμοποιώντας την μικρότερη δύναμη εφαρμογής. Η χρήση αυτής της κεφαλής είναι σε συγκριτικά όργανα με στήριξη και σε άλλες παρόμοιες εφαρμογές.

β) Μετρητική κεφαλή τύπου φυσιγγίου (Σχ. 5.8.), έχει κυλινδρική μορφή με συνηθέστερη τυπική διάμετρο για στελέχη ενδεικτικών οργάνων 3/8 ίντσας, με δυνατότητα εναλλαξιμότητας.

Χαρακτηρίζονται από την ικανότητα να αντικαταστούν μηχανικά ενδεικτικά όργανα σε μετρήσεις που είχαν σχεδιαστεί να λειτουργούν με αναλογικά όργανα ένδειξης.

γ) Μετρητική κεφαλή τύπου μοχλού εξοπλισμένη με έναν επαφέα με ανάρτηση περιστροφής (Σχ. 5.9.). Ο περιστρεφόμενος επαφέας εξυπηρετεί καλύτερα στην επαφή με την επιφάνεια μέτρησης σε από ότι ο αξονικά μετατοπισμένος μετρητικός επαφέας

Εικόνα 5.7.

Εικόνα 5.8.

Εικόνα 5.9.

5.4.2. Ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης ύψους

Ο όρος μετρητής ύψους αναφέρεται κυρίως στην μεταφορά μεγέθους ύψους από το ένα επίπεδο σε ένα άλλο όμοιο ή σύγκρισης τιμών σε κοινό επίπεδο αναφοράς. Τα όργανα μέτρησης ύψους είναι εφοδιασμένα ηλεκτρονικές κεφαλές τοποθετημένες σε μια ράβδο με τις ιδιότητες περιστροφής, εκτεινόμενη, κάθετη προς την βάση του οργάνου, συνοδευόμενο από ρυθμιστική συσκευή.

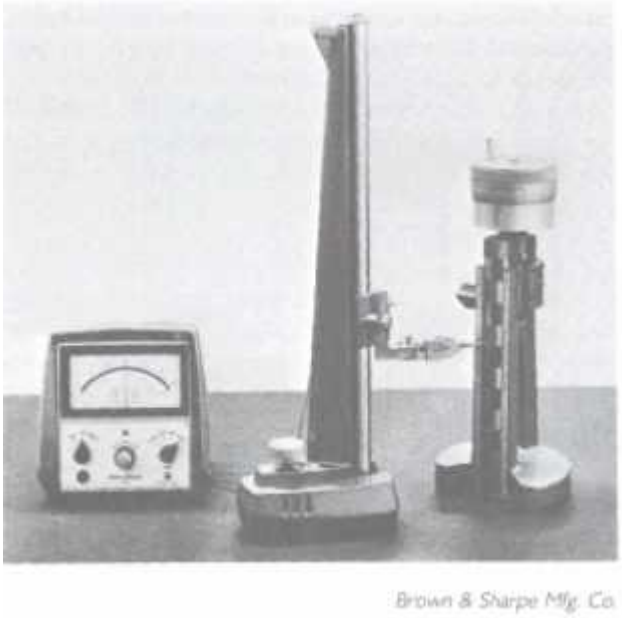
Τα κύρια μέλη ενός τέτοιου μετρητή είναι η έδραση του οργάνου, το ενδεικτικό όργανο ελέγχου (με την μετρητική κεφαλή) και η μονάδα ενίσχυσης που παρουσιάζει και τα αποτελέσματα.

Εικόνα 5.10.

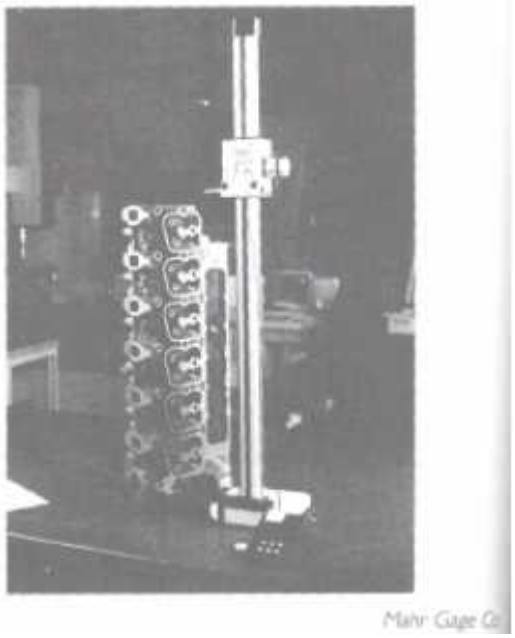
Όπως παρατηρείται στο σχήμα 5.8. ο μετρητής ύψους τοποθετείται σε μία βάση στήριξης. Η βάση στήριξης απαιτείται να είναι σε επίπεδη επιφάνεια και για μεγαλύτερη ακρίβεια διαθέτει υποπόδια. Το όργανο πρέπει να παρέχει σταθερή στήριξη της κεφαλής και η θετική μανδάλωσης των αρθρώσεων αποτελεί κρίσιμο σημείο για την συντέλεση του συστήματος. Η ευαίσθητη ολίσθηση της έδρασης στην επιφάνεια μπορεί να φέρει λάθος αποτέλεσμα εάν η διαστασιολόγηση της έδρασης συντελεί μεγάλο βάρος.

Οι κατακόρυφες στήλες είναι εξοπλισμένες με οδοντωτό κανόνα και πινίον ή τροχίσκο τριβής οδηγούμενος σε αυλακώσεις για την κατακόρυφη προσαρμογή της άρθρωσης συγκράτησης της ράβδου του οργάνου. Στο παραπάνω σχήμα ο κοχλίας είναι τμήμα της στήριξης κεφαλής. Κυκλοφορούν πολλά είδη στήριξης. Σε άλλα ο κοχλίας με την στρέψη του παράγει μία κίνηση της στήλης στον κατακόρυφο άξονα ή τα όργανα που διαθέτουν κοντό βραχίονα υποβοηθούνται από ελατήριο σε κάμψη από την βάση στήριξης, για την εκτέλεση της προσαρμογής. Εκεί όταν ένας χειροκίνητος κοχλίας ενεργηθεί, μεταδίδεται μια κίνηση ανατροπής στη στήλη έδρασης.

Η τοποθέτηση του οργάνου αλλά και η μετρούμενη επιφάνεια πρέπει να βρίσκονται στην ίδια επίπεδη επιφάνεια χωρίς όμως να είναι ανάγκη η κατώτερη επιφάνεια του αντικειμένου να στηρίζεται πάνω στο επίπεδο αλλά να στηρίζεται σε ενδιάμεσο παράλληλο συστατικό. Το πάχος του συστατικού είναι γνωστό. Η αποτελεσματικότητα της μέτρησης δεν επηρεάζεται από το εικονικό επίπεδο αναφοράς όταν χρησιμοποιούνται πλακίδια στήριξής.



Εικόνα 5.11.: Ηλεκτρονικός μετρητής ύψους χρησιμοποιώντας πλακίδια για την δημιουργία έμμεσου επιπέδου αναφοράς.



Εικόνα 5.12.: Ψηφιακό μετρητικό όργανο ύψους.

5.4.3. Σημεία προσοχής στις μετρήσεις με ηλεκτρονικά όργανα

Η μέτρηση μήκους με ηλεκτρονικά όργανα προσφέρει πλεονεκτήματα, δυστυχώς όχι ορατά τις περισσότερες φορές. Το αποτέλεσμα είναι αξιόπιστο αναλόγως τις συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνονται οι μετρήσεις. Η ομαλότητα του επιπέδου όπου θα στηριχτεί το μετρούμενο αντικείμενο να εξαιρετικά ομαλό, οι επιφάνειες επίσης να είναι λείες και παράλληλες μεταξύ τους και η τράπεζα εργασίας που θα τοποθετηθεί να είναι σε αξονική συμμετρία με τον άξονα της κεφαλής μέτρησης.

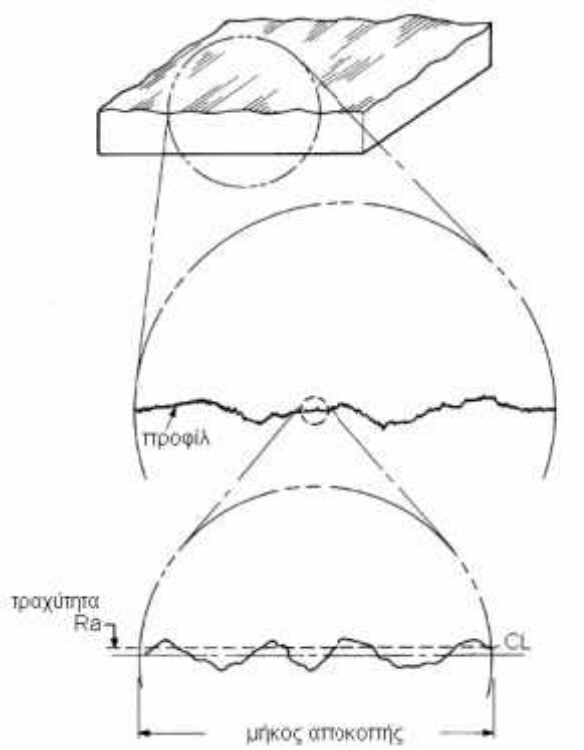
Δυστυχώς πάντα θα υπάρχουν παράγοντες που θα ελαχιστοποιούν τις πιθανότητες για ιδανική μέτρηση όπως είναι μη ομαλότητα του επιπέδου εργασίας, παγιδευμένος αέρας, ακόμα και κόκκοι σκόνης μπορεί να στερήσουν την ακρίβεια αυτή έστω και απειροελάχιστα μικρά. Δύσκολα εντοπίζονται και αντιμετωπίζονται οι παραπάνω παράμετροι, φέροντας κατά συνέπεια το σφάλμα της μέτρησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Τραχύτητα τεχνικών επιφανειών

6.1. Εισαγωγή στη τραχύτητα

Η επίτευξη μίας απολύτως λείας επιφάνειας είναι σχεδόν αδύνατον να υλοποιηθεί. Λεία επιφάνεια αναφέρεται εκείνη όπου όλα τα άτομα της είναι διατεταγμένα στο ίδιο γεωμετρικό επίπεδο. Οι ιδιότητες κάθε υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο ένα τεμάχιο αλλά και ο τρόπος κατασκευής του επιτρέπει την προσέγγιση επιπεδότητας και της μορφής της επιφάνειας. Παρατηρώντας προσεκτικά μία επιφάνεια, αρκετές φορές ακόμα και χωρίς την χρήση οργάνου, γίνονται αντιληπτές κάποιες ανωμαλίες της γεωμετρίας είτε είναι ένα από κοίλωμα είτε γενικά στο σύνολο. Περιγραφικά μπορεί να συγκριθεί με τον φλοιό της γης που αποτελείται από συνύπαρξη πεδιάδων, βουνών, κοιλάδων κτλ.



Σχήμα 6.1 Μεγέθυνση πραγματικής επιφάνειας

Απαραίτητος για την χρήση κάθε μηχανολογικού εξαρτήματος είναι ο προσδιορισμός των αποδεκτών ορίων των παραπάνω ατελειών της επιφάνειας, δηλαδή της ***ποιότητας της επιφάνειας***. Η αξιολόγηση της λεγόμενης τραχύτητας ενός τεμαχίου ή ενός εξαρτήματος, έχει σημασία τόσο αισθητική όσο και λειτουργική. Ιδιαίτερα σημαντική είναι στον τομέα της κατασκευής μηχανολογικών εξαρτημάτων όπου τα αντικείμενα έρχονται σε επαφή με άλλα του συστήματος.

Ο όρος τραχύτητα κατεργασμένης επιφάνειας με κοπή, δηλαδή με τόρνευση, φραιζάρισμα, λείανση, κλπ., αναφέρεται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας, όπως αναφέρθηκε, αλλά επίσης και στα φυσικά, χημικά και μεταλλογραφικά χαρακτηριστικά του υλικού. Τέτοια είναι η σκληρότητα, οι παραμένουσες τάσεις, ο κρυσταλλικός ιστός, η αντίσταση στη διάβρωση ή οξείδωση, κλπ.

Η τραχύτητα επιφάνειας θεωρείται μέτρο της υφής της επιφάνειας. Οι αποκλίσεις των κατακόρυφων αποστάσεων της πραγματικής επιφάνειας από την ιδανική μορφή του καθορίζουν το είδος της τραχύτητας. Στην περίπτωση που οι αποκλίσεις είναι μεγάλες τότε η επιφάνεια θεωρείται

τραχιά και στην περίπτωση που οι αποκλίσεις είναι μικρές τότε η επιφάνεια θεωρείται ομαλή, αντίστοιχα.

Υψηλή σημασία στην εκτίμησης ενός εξαρτήματος είναι η ποιότητα της επιφάνειας επειδή δείχνει την αλληλεπίδραση που θα έχει το αντικείμενο με το περιβάλλον του και την απόδοση σε συνεργασία με άλλα εξαρτήματα. Η υπερβολική τραχύτητα προκαλεί φθορά του τεμαχίου σε μικρό χρονικό διάστημα και συνεπώς αλλαγή στις διαστάσεις του. Επεξεργασμένες επιφάνειες με το χέρι εμφανίζουν μεγαλύτερη τραχύτητα από τις επεξεργασμένες με μηχανικές ή αυτόματες μεθόδους. Συχνά, η τραχύτητα έχει θετικό ρόλο στην ένδειξη απόδοσης ενός εξαρτήματος και επίσης με την βοήθειά της υπάρχει μεγαλύτερη πρόσφυση των τεμαχίων. Ομοίως, η υπερβολικά λεία επιφάνεια δεν είναι πάντα επιθυμητή. Το παραπάνω γίνεται αντιληπτό με το παράδειγμα των κυλίνδρων μίας μηχανής εσωτερικής καύσεως. Η απόλυτη λείανση των κυλίνδρων με μία μείωση διακένου εμβόλου, το λιπαντικό θα αδυνατεί να προσκολληθεί στις επιφάνειες με αποτέλεσμα να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στη λίπανση συγκεκριμένων στοιχείων.

Η ποιότητα της επιφάνειας εξαρτάται από την επίδραση βασικών παραγόντων, οι οποίοι συνδέονται με τον τρόπο κατεργασίας τους. Ο κάθε τρόπος ξεχωριστά δημιουργεί διαφορετικά είδη ανωμαλιών στην γεωμετρική μορφή της επιφάνειας αλλά και στην δομή του υλικού, ειδικά στην εξωτερική στοιβάδα του αντικειμένου. Με την κατεργασία, η μορφή του τεμαχίου αποκλίνει από την τελική μορφή που θα έπρεπε να διάθετε, όπως προβλέπεται στο μηχανολογικό σχέδιο. Αναλυτικά κατά την τόρνευση ή την λείανση κυλινδρικών επιφανειών παράγονται ελικοειδή αυλάκια, η λείανση με εναλλασσόμενη ελικοειδή κίνηση παράγει διασταυρούμενα αριστερόστροφα και δεξιόστροφα ελικώδης σχήματα.

Σχήμα 6.2. Ποιότητα επιφάνειας ενός «φυσικού» στερεού σώματος

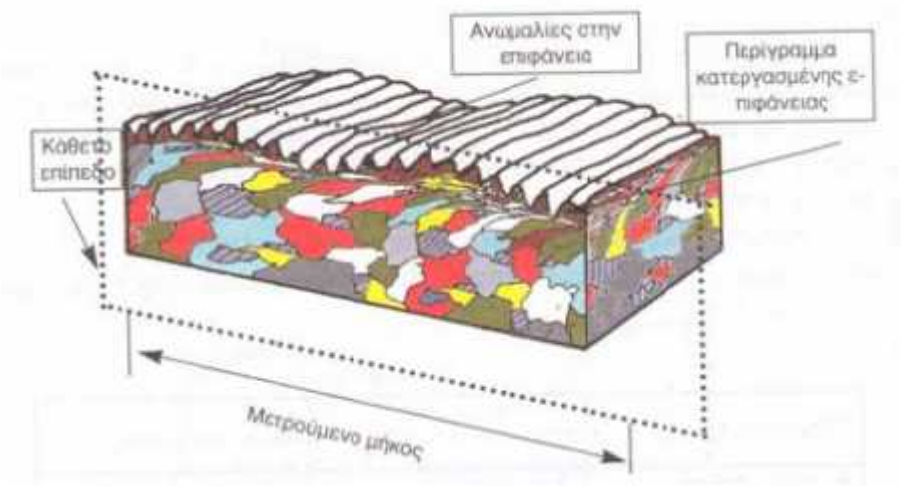
6.2. Μειονεκτήματα τραχύτητας

Ο όρος τραχύτητα σημαίνει σημείο προσοχής για έναν τεχνίτη, κατασκευαστή, μηχανολόγο κ.ο.κ.. Η επίδραση της σε ένα τεμάχιο έχει ποικίλες μορφές, εκτός από την εξωτερική εμφάνιση της επιφάνειας, ασκεί επίδραση στις συνθήκες επαφής συνεργαζόμενων επιφανειών μίας κατασκευής όπως ο συντελεστής τριβής ή χαρακτηριστικά λιπάνσεως κ.λπ., στους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας, στην αντίσταση στη διάβρωση, στην κατάσταση ροής ρευστών τοιχωμάτων και στην ανοχή σε κόπωση των μετάλλων.

Η ύπαρξή της, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ανεπιθύμητη, όμως η αντιμετώπιση έχει αντίκτυπο στο κόστος κατασκευής. Ο έλεγχος της τραχύτητας είναι δύσκολος και δαπανηρός να επιβλέπεται σε κάθε εξάρτημα που θα κατασκευάζεται. Μειώνοντας την τραχύτητα ενός τεμαχίου αυξάνει εκθετικά το κόστος κατασκευής. Επομένως, όσο καλύτερη απόδοση έχει ένα εξάρτημα στο σύνολο της κατασκευής τόσο αυξημένο είναι το κόστος του.

6.3. Χρήσιμοι ορισμοί της τραχύτητας

Η τραχύτητα χαρακτηρίζεται από διάφορα μεγέθη που μπορούν να μετρηθούν. Κατά DIN 4768 καθορίζονται με βάση ορισμένων μετρήσεων. Για την κατανόηση των ορισμών, ας θεωρηθεί ότι η κατεργασμένη επιφάνεια τέμνεται από ένα κάθετο επίπεδο και δίνει σαν εικόνα την παρακάτω.

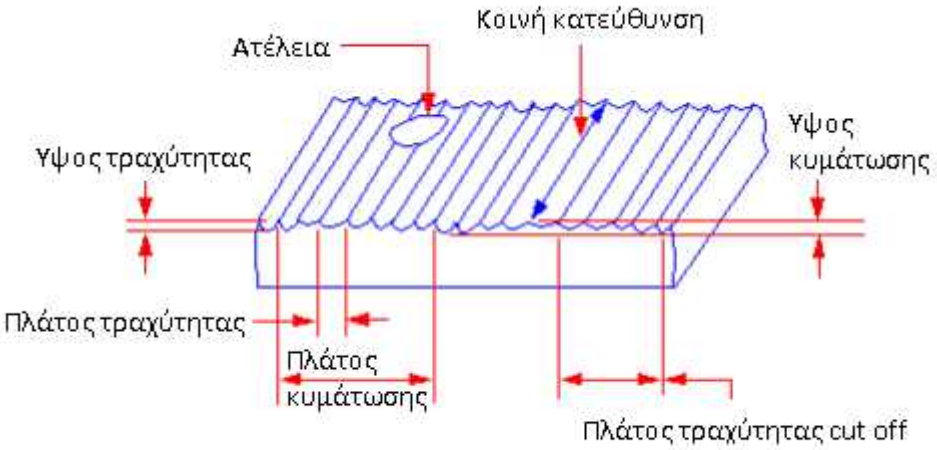


Σχήμα 6.3 Τομή κατεργασμένης επιφάνειας

- ***Ονομαστική επιφάνεια*:** ονομάζεται η επιφάνεια που έχει οριστεί στο μηχανολογικό σχέδιο

με συγκεκριμένες διαστάσεις ή θεωρούμενη επιφάνεια του τεμαχίου που δίνεται με περιγραφικό τρόπο.

- ***Πραγματική επιφάνεια:*** ονομάζεται η ληφθείσα επιφάνεια ενός τεμαχίου που έχει κατεργαστεί και λαμβάνεται με τη βοήθεια οργάνων ή άλλων μέσων.
- ***Περίγραμμα:*** ονομάζεται η μορφή που έχει ένα κατεργασμένο αντικείμενο σε τομή της θεωρούμενης επιφάνειας.
- ***Ονομαστικό περίγραμμα:*** ονομάζεται το περίγραμμα της επιφάνειας, δίχως τις πιθανόν ανωμαλίες που εμφανίζονται στο πρώτο στρώμα της.
- ***Πραγματικό περίγραμμα:*** ονομάζεται το περίγραμμα της επιφάνειας, αφού έχει κατεργαστεί, όπως δίνεται με τη βοήθεια οργάνων ή άλλων μέσων.
- ***Ύψος τραχύτητας ή ανομοιομορφίας:*** ονομάζεται το ύψος των ατελειών μίας επιφάνειας σε σχέση με μια γραμμή αναφοράς. Το ύψος μετριέται σε χιλιοστά ή μικρά.
- ***Πλάτος τραχύτητας:*** ονομάζεται η απόσταση παράλληλη προς την ονομαστική επιφάνεια μεταξύ διαδοχικών κορυφών. Το πλάτος τραχύτητας μετριέται επίσης σε χιλιοστά ή μικρά.
- ***Πλάτος τραχύτητας cut off:*** ονομάζεται η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των ανωμαλιών που συμπεριλαμβάνονται στη μέτρηση του μέσου ύψους τραχύτητας. Το πλάτος τραχύτητας cut off είναι πάντα μεγαλύτερο από το πλάτος τραχύτητας ώστε να επιτευχθεί το συνολικό ύψος τραχύτητας.



Surface characteristics (Courtesy, ANSI B46.1 - 1962)

Σχήμα 6.4.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται όλοι οι παράμετροι τραχύτητας.

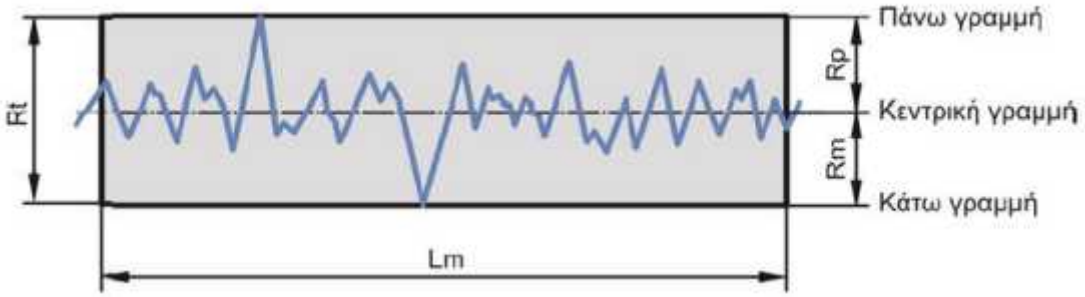
Παράμετρος	Ονομασία	Name
Ra	Μέση τιμή τραχύτητας	Roughness Average
Rq	Μέση τετραγωνική ρίζα (RMS) τραχύτητας	Root mean Square (RMS) Roughness
Rt	Μέγιστο ύψος	Maximum Height of the Profile
Rm, Rv	Μέγιστο βάθος κοιλάδας	Maximum Profile Valley Depth
Rp	Μέγιστο ύψος κορυφής	Maximum Profile Peak Height
Rpm	Μέσος όρος μέγιστου ύψους κορυφών	Average Maximum Profile Peak Height
Rz	Μέσος όρος μέγιστου ύψους	Average Maximum Height of the Profile
Rmax	Μέγιστο βάθος τραχύτητας	Maximum Roughness Depth
Rc	Μέσο ύψος παρατυπιών της επιφάνειας	Mean Height of Profile Irregularities
Rz(iso)	Ύψος τραχύτητας	Roughness Height
Wt, W	Ύψος κυμάτων	Waviness Height
S	Μέσο μήκος κορυφών	Mean Spacing of Local Peaks of the Profile
Sm, RSm	Μέσο μήκος παρατυπιών	Mean Spacing of Profile Irregularities
Λa	Μέσο μήκος κύματος	Average Wavelength of the Profile
Λq	Μέση τετραγωνική ρίζα (RMS) μήκους κύματος	Root Mean Square (RMS) Wavelength of the Profile
Ir	Αναλογία μήκους	Profile Length Ratio
Rsk, Sk	Ασυμμετρίες	Skewness
Rz1max	Μέγιστη τραχύτητα της επιφάνειας	Maximum surface roughness

Πίνακας 6.1

6.4 Μέτρηση τραχύτητας

Για την μέτρηση ανωμαλιών μιας επιφάνειας χρησιμοποιείται το σύστημα κεντρικής γραμμής ή σύστημα (M) κατά DIN 4672 και το σύστημα περιβάλλουσας (E), το οποίο χρησιμοποιείται σπανίως. Παρά μόνο τα τελευταία έτη, αναπτύχθηκε για την μέτρηση τραχύτητας επιφάνειας, στο οποίο βασίστηκαν εθνικά πρότυπα τραχύτητας ορισμένων ευρωπαϊκών χωρών. Τέλος, υιοθετήθηκε από τα πρότυπα DIN 4760 και 4762 του 1956. Σύμφωνα με το σύστημα (M) η ιδεώδης γεωμετρική ευθεία μετατίθεται σε ένα ορισμένο μήκος. Όταν η παράλληλη μετατόπιση αγγίξει το ανώτατο σημείο των ανωμαλιών τότε καθορίζεται η ***σχετική γραμμή***. Αν αγγίξει το κατώτατο σημείο τότε καθορίζεται η ***βασική γραμμή***.

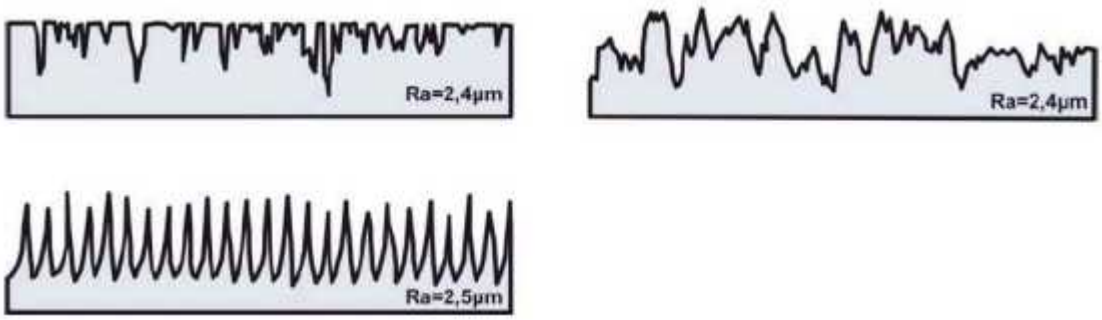
Υπάρχει ένα σημείο όπου η γεωμετρική γραμμή χωρίζει τις επιφάνειες των ανωμαλιών κατά τρόπον ώστε όσες βρίσκονται πάνω από την γραμμή μα είναι τόσες όσες και κάτω από την γραμμή αυτή.



Σχήμα 6.5.

Στο παραπάνω σχήμα γίνονται αντιληπτές τα σύμβολα Rp, Rm και Rt. Το καθορισμένο μήκος στο οποίο μετριέται η τραχύτητα είναι το Lm. Η σχετική γραμμή (επάνω γραμμή) εφάπτεται με το ψηλότερο σημείο των ανωμαλιών της επιφάνειας και η βασική γραμμή (κάτω γραμμή) εφάπτεται με την μεγαλύτερη εσοχή που διαθέτει η επιφάνεια. Η απόσταση Rt είναι η απόσταση μεταξύ της σχετικής και βασικής γραμμής. Μετράται σε μm.

Το μέσο ύψος τραχύτητας Ra είναι η μέση αριθμητική τιμή της τραχύτητας και παρίσταται με το ύψος ενός ορθογωνίου παραλληλογράμμου. Το ορθογώνιο αυτό κατασκευάζεται όταν οι επιφάνειες που βρίσκονται πάνω από την μέση γραμμή ή εκείνες που βρίσκονται κάτω από αυτή, εξισώνονται με την επιφάνεια του ορθογωνίου αυτού που έχει μήκος, το μήκος του δοκιμίου. Μετράται σε μm.

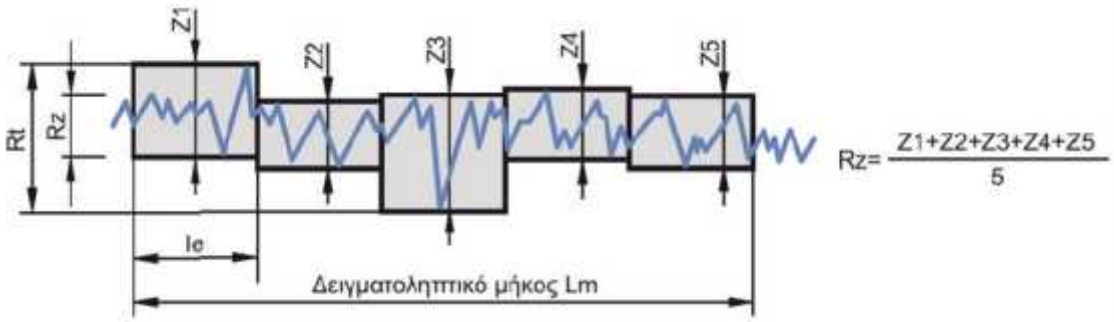


Σχήμα 6.6.: Μέσο ύψος επιφάνειας με διαφορετικές μορφές αποκλίσεων

Μετατροπή μεταξύ των μεγεθών Rt και Ra δεν είναι δυνατή. Για αντικείμενα που κατεργάζονται με αφαίρεση υλικού υπάρχουν εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν τα μεγέθη αυτά.

Σύμφωνα με το DIN4768-1, μετριέται και το μέγεθος Rz. Το μέγεθος Rz προσδιορίζεται από την διαφορά των 5 υψηλότερων κορυφών με το σύνολο των πέντε μεγαλύτερων εσοχών του

πραγματικού περιγράμματος, διαιρούμενο με τον αριθμό πέντε. Στο σχήμα που ακολουθεί, τα πέντε σημεία έχουν προσδιοριστεί σε ίσα τμήματα με μήκος le, όπου λέγεται μήκος αποκοπής και έχει σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της τραχυμέτρησης.



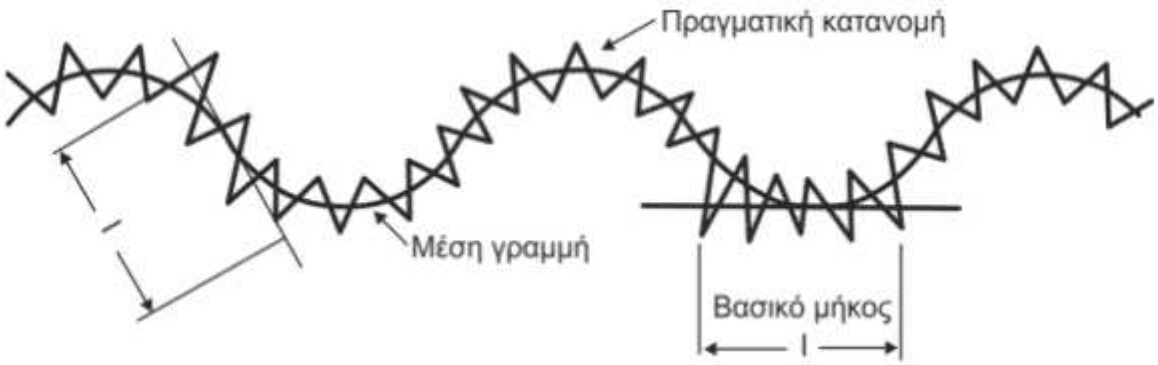
Σχήμα 6.7.: Προσδιορισμός μεγέθους Rz

6.4.1. Προσδιορισμός της μέσης γραμμής (Mean line)

Ο προσδιορισμός της θέσης της μέσης γραμμής είναι δύσκολος γιατί οι αποστάσεις της βασικής και της σχετικής γραμμής θα πρέπει να ισαπέχουν από την μέση γραμμή. Για τον λόγο αυτό, ο καθορισμός της γίνεται με την βοήθεια ενός ειδικού πετάλου. Γραφικά, αναπαριστάται σαν μία ευθεία γραμμή, παράλληλη με την κοινή κατεύθυνση του πραγματικού περιγράμματος. Η μέση γραμμή είναι εντός των ορίων του δειγματοληπτικού μήκους.

Σκοπός της ύπαρξης της είναι καθοριστικός, λαμβάνεται ως σημείο αναφοράς για την αρχή μέτρησης των υψών και των κοιλωμάτων της πραγματικής κατατομής. Η τοποθέτησή της γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε, μέσα στο δειγματοληπτικό μήκος, το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων, όπως αναφέρθηκε να είναι όσο γίνεται ελάχιστο.

Για τον ακριβή προσδιορισμό της μέσης γραμμής ως προς την θέση και την κατεύθυνσή της, χρειάζονται τουλάχιστον έξι εμβαδομετρήσεις, με αποτέλεσμα να είναι πρακτικά δύσκολο να υπολογιστεί με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Στις επιφάνειες πολλές φορές έχουν έντονες κυματώσεις, δημιουργώντας μια ημιτονοειδή μορφή της μέσης γραμμής. Πρακτικά στην παραπάνω περίπτωση, το ερώτημα εάν η μέση γραμμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν γραμμή αναφοράς είναι δύσκολο να απαντηθεί.



Σχήμα 6.8.: Προσδιορισμός μέσης γραμμής

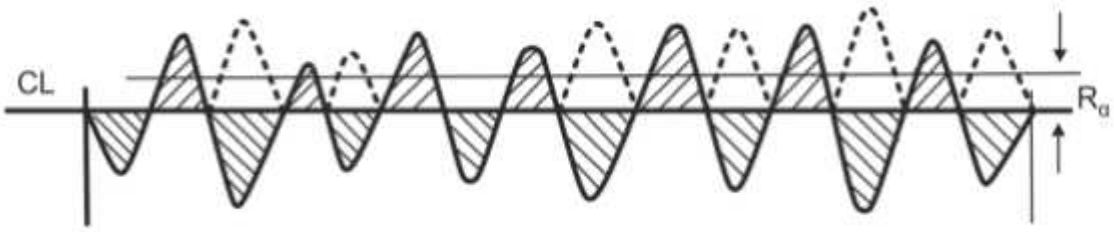
6.4.2 Προσδιορισμός κεντρικής γραμμής (Central Line)

Αποδεικνύοντας στην πράξη η αδυναμία του καθορισμού της μέσης γραμμής στα τραχύμετρα, προτάθηκε ως σύστημα αναφοράς την λεγόμενη κεντρική γραμμή (CL). Έχει την μορφή ευθείας γραμμής, τέτοια ώστε σε ένα καθορισμένο δειγματοληπτικό μήκος (L), τα εμβαδά πάνω και κάτω από αυτή της κατατομής ως το πραγματικό περίγραμμα να είναι ίσα.

Αν η κεντρική γραμμή ληφθεί σαν αρχή τεταγμένων για τις μετρήσεις, για να οριστεί θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$\int_{0}^{-L} y\,dx = 0 \qquad 4.1$$

Με την παραπάνω σχέση αποδεικνύει ότι τα εμβαδά που σχηματίζονται μεταξύ της τεμνόμενης κατανεμημένης επιφάνειας από την κεντρική γραμμή, είναι ίσα εκατέρωθεν αυτής.



Σχήμα 6.9.: Προσδιορισμός κεντρικής γραμμής

6.4.3 Προσδιορισμός μέσης αριθμητικής τραχύτητας Ra

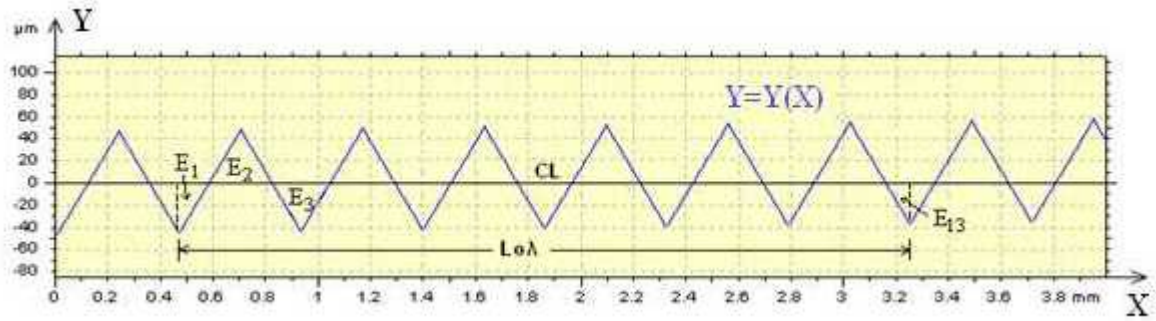
Ως μέση τραχύτητα είναι η μέση αριθμητική τιμή της τραχύτητας και ορίζεται από την σχέση:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx \qquad (4.2)$$

Ο υπολογισμός της μέσης τραχύτητας γίνεται αυτόματα από τα τραχύμετρα (ηλεκτρικά όργανα) και ο προσδιορισμός της γίνεται ταχύτατα. Παριστάνει την μέση απόκλιση όλων των σημείων της κατατομής από την κεντρική γραμμή σε ένα δειγματοληπτικό μήκος γνωστό.

Η παραπάνω σχέση μπορεί να απλουστευτεί, για μία απλή γεωμετρικά κατατομή, όπως στο σχήμα4.9. αναλυτικά μπορεί να πάρει την μορφή:

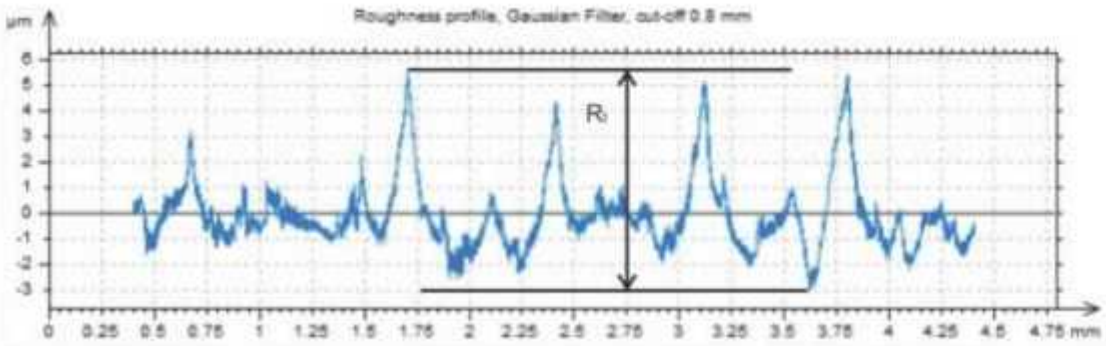
$$R_a = \frac{E_{o\lambda}}{L_{o\lambda}} = \frac{E_1 + E_2 + \cdots + E_{13}}{L_{o\lambda}} \qquad (4.3)$$



Σχήμα 6.10 Προσδιορισμός της μέσης αριθμητικής τραχύτητας μιας απλής γεωμετρικής κατανομής.

6.4.4. Υπολογισμός μεγίστου βάθους ή μέγιστης τραχύτητας R_t

Ο υπολογισμός του μεγίστου βάθους είναι μία απλή διαδικασία. Το μειονέκτημα του μεγέθους είναι ότι παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία ακόμη και σε μικρές τοπικές ανωμαλίες της δεδομένης δειγματοληπτικής επιφάνειας.



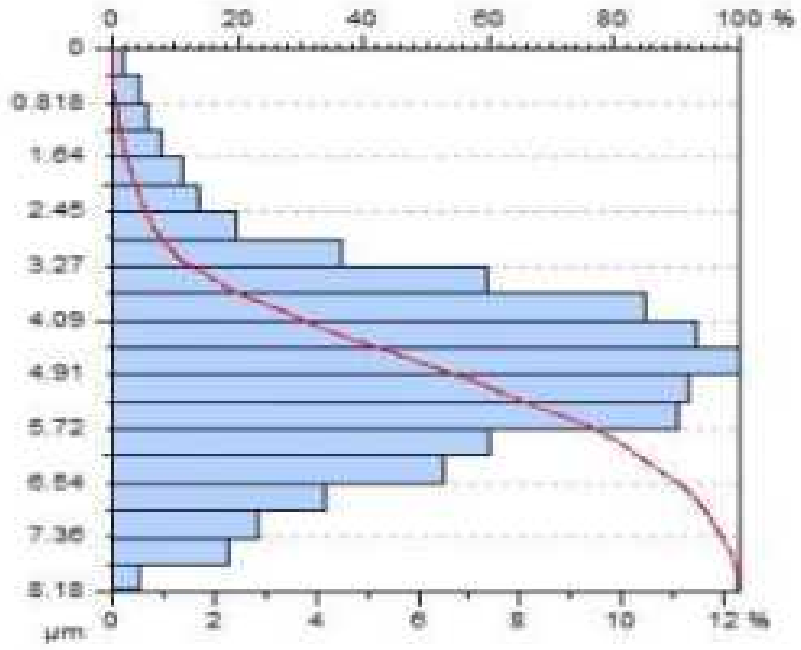
Σχήμα 6.11.: Υπολογισμός μεγίστου βάθους

6.4.5 Υπολογισμός καμπύλης φέρουσας επιφάνειας

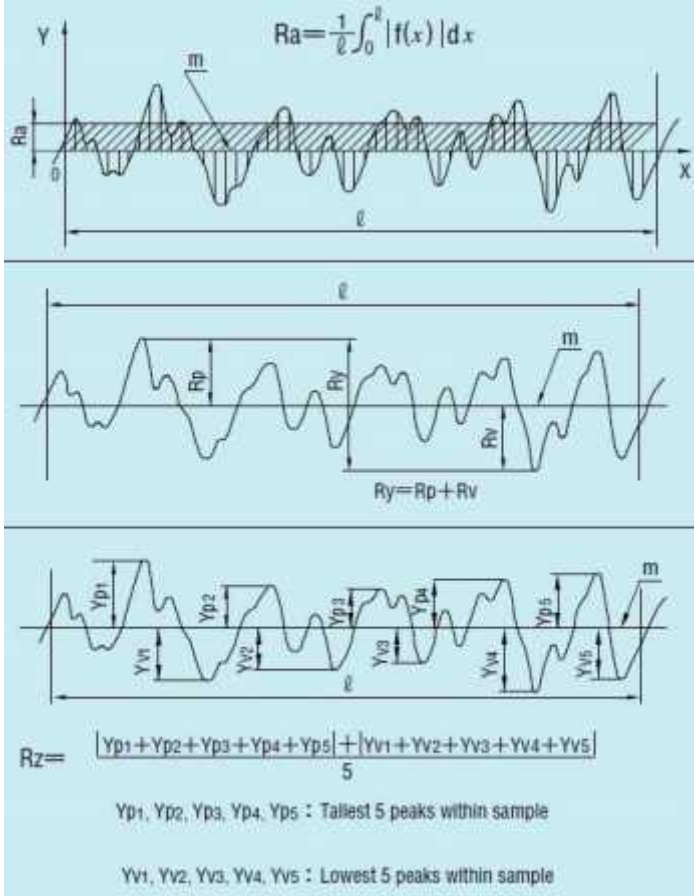
Η καμπύλη φέρουσας επιφάνειας δίνεται τα στατιστικά αποτελέσματα της αθροιστικής συχνότητας των ανωμαλιών μίας επιφάνειας, όταν αυτός ο αριθμός ξεπερνά μία δεδομένη τιμή. Οι λαμβανόμενες πληροφορίες αφορούν την πραγματική επιφάνεια.

$$P_{(y>h)} = \int_{h}^{\infty} p\ y\ dy \qquad (4.4)$$

όπου p(y) είναι η συνάρτηση κατανομής των υψών των ανωμαλιών και πόσες πιθανότητες κάποιο από τα σημεία της δειγματοληπτικής επιφάνειας να κατέχουν ύψος ανάμεσα στο y+dy.



Σχήμα 6.12.: Καμπύλη φέρουσας επιφάνειας.



Σχήμα 6.13.: Συνοπτικό διαγράμματα διαφόρων μεγεθών.

6.4.6 Καθορισμός μήκους ολοκλήρωσης ή αποκοπής (Cut off)

Η τραχύτητα προκαλεί διάφορες γεωμετρικές ανωμαλίες στην επιφάνεια ενός τεμαχίου, που απέχουν σε μη καθορισμένες αποστάσεις και έχουν διαφορετικά ύψη κορυφών και βάθη κοιλωμάτων. Επιλέγοντας ένα αντιπροσωπευτικό μήκος ολοκλήρωσης cut off length, αρκετά μεγάλο για να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό τμήμα της επιφάνειας, μπορεί να υπολογιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η τραχύτητα της δεδομένης επιφάνειας. Το μήκος ολοκλήρωσης θα πρέπει να είναι σχετικά μικρό ώστε ο υπολογισμός να εκτελείται σε μικρό χρονικό διάστημα αλλά επίσης για να αποφεύγονται και τιμές που θα σχετίζονται με άλλα φαινόμενα όπως η κυμάτωση προκαλώντας αλλοίωση στο αποτέλεσμα.

Ο ρόλος του μήκους ολοκλήρωσης είναι πολύ σημαντικός για την αξιολόγηση μίας επιφάνειας, ειδικά όταν πραγματοποιείται με ψηφιακά όργανα μέτρησης. Σύμφωνα με το κριτήριο Nyquist, για να αποσαφηνιστεί η κυματομορφή, αν η συχνότητα του ηλεκτρονικού σήματος που στέλνει το όργανο είναι F τότε η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι 2F. Εάν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι μεγαλύτερη, δηλαδή πιο πυκνή από την ζητούμενη, το αποτέλεσμα θα είναι η

αλλοίωση του υπολογισμού και της στατιστικής ανάλυσης αφού σα τιμές θα λαμβάνει τις γειτονικές μετρήσεις. Αντιθέτως, εάν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι μικρότερη, πιο αραιή από την ζητούμενη, το αποτέλεσμα θα είναι πάλι λανθασμένο αφού θα υπάρχει απώλεια μέτρησης τιμών και αποκλεισμό από την πραγματική κατατομή.

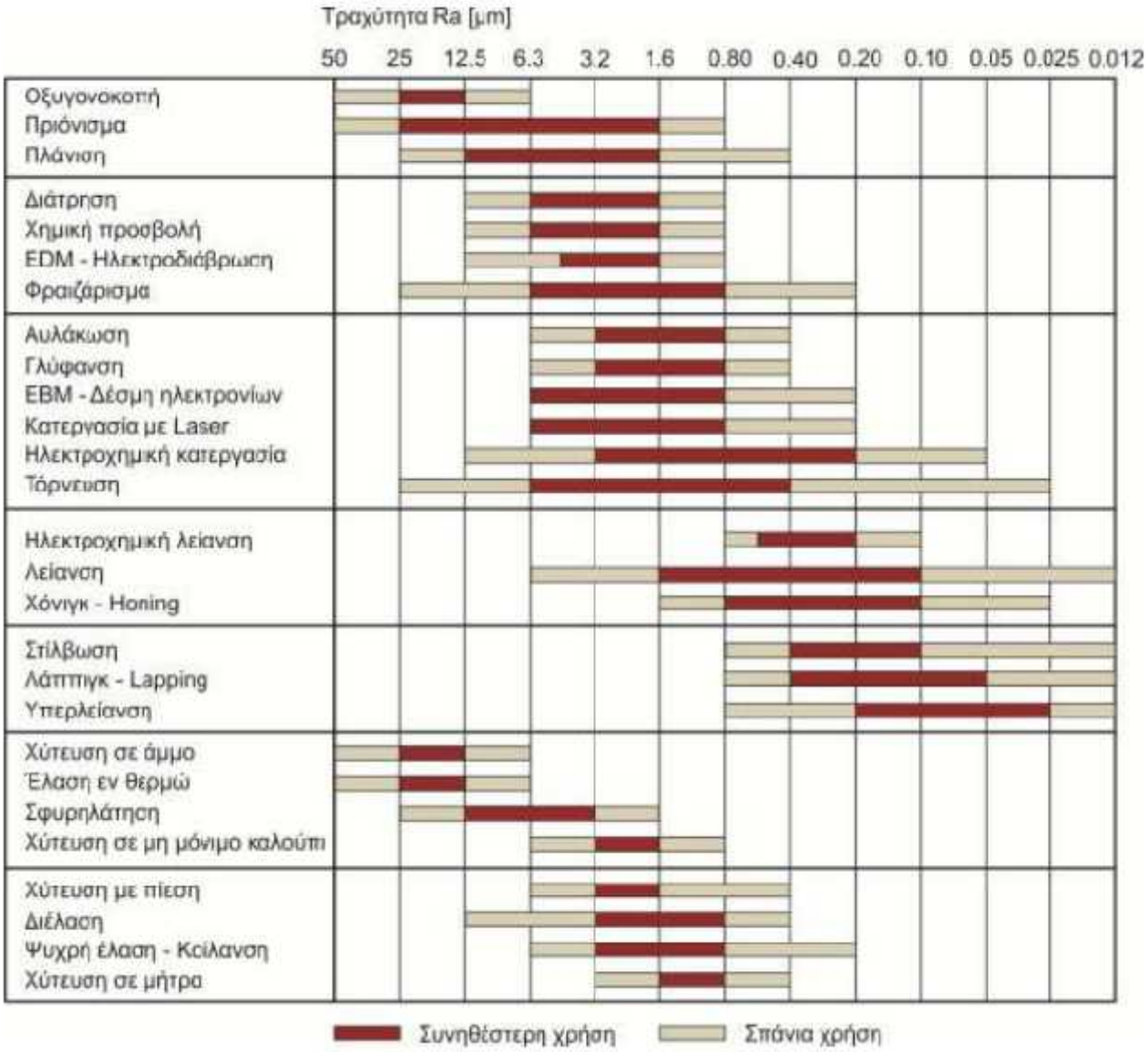
Το μήκος ολοκλήρωσης επιλέγεται ανάλογα με το μέγεθος που καλείται να μετρηθεί. Για παράδειγμα, για την μέτρηση του μέσου ύψους, μπορεί να πραγματοποιηθεί μία ακριβή μέτρηση με λίγα σχετικά σημεία μέτρησης ενώ για την μέτρηση τραχύτητας μπορεί να είναι απαραίτητες λίγες τιμές, όμως ανεπαρκή στην περίπτωση σχεδιασμού της γραφικής παράστασης της κατατομής. Επίσης, το μήκος ολοκλήρωσης που θα χρησιμοποιηθεί σα μήκος δειγματοληψίας εξαρτάται από την γεωμετρία της ακίδας του τραχυμέτρου. Το μήκος θα πρέπει να είναι ίσο ή λίγο μεγαλύτερο από το μήκος της ακτίνας καμπυλότητας της ακίδας διότι έχει την ικανότητα να εξομαλύνει την επιφάνεια εάν έχει μεγάλη κυματομορφή και να ενεργεί ως μηχανικό φίλτρο, κάνοντας άρση στις υψηλές κορυφές.

6.4.7. Μαθηματικός υπολογισμός διαφόρων παραμέτρων επιφανειών

Παράμετρος	Ονομασία	Εξίσωση
R_a	Μέσο αριθμητικό ύψος	$R_a = 1/n \sum_{i=1}^{n} \lvert y_i \rvert$
R_q	Μέση τετραγωνική ρίζα	$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i^2}$
R_z	Μέσο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα	$R_{z(ISO)} = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} p_i - \sum_{i=1}^{n} v_i\right)$ $R_{z(DIN)} = \frac{1}{2n}\left(\sum_{i=1}^{n} p_i + \sum_{i=1}^{n} v_i\right)$
R_p	Μέγιστο ύψος κορυφής	$R_p = max_i y_i$
R_v	Μέγιστο βάθος κοιλάδας	$R_p = min_i y_i$
R_{pm}	Μέσο ύψος κορυφών	$R_{pm} = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} p_i\right)$
R_{vm}	Μέσο βάθος κοιλάδων	$R_{vm} = \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} v_i\right)$

R_t/R_{max}	Μέγιστο ύψος του προφίλ	$R_t = R_p + R_v$
R_{t1}	Μέγιστο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα	$R_{ti} = R_{pi} + R_{vi}$
R_{tm}	Μέσο μέγιστο ύψος από κορυφή σε κοιλάδα	$R_{tm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} R_{ti}$
R_y	Μεγαλύτερο από κορυφή σε κοιλάδα ύψος	$R_y = max_i R_{ti}$
R_{3y}	Τρίτου σημείου ύψος	$R_{3y} = \frac{1}{5}(\sum_{i=1}^{5} R_{3yi})$
k	Παράγοντας στερεότητας προφίλ	$k = \frac{R_v}{R_{max}}$
R_{sk}	Ασυμμετρία	$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_{-\infty}^{+\infty} y^3 p\ y\ dy$ $R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3}(\sum_{i=1}^{N} Y_i^3$
R_{ku}	Κύρτωση	$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \int_{-\infty}^{+\infty} y^4 p\ y\ dy$ $R_{ku} = \frac{1}{NR_q^4}(\sum_{i=1}^{N} Y_i^4$

Πίνακας 6.2.: Υπολογισμός διάφορων παραμέτρων επιφάνειας



Πίνακας 6.3.: Συχνές τιμές τραχύτητας ανάλογα την κατεργασία.

6.5. Αποκλίσεις μορφής

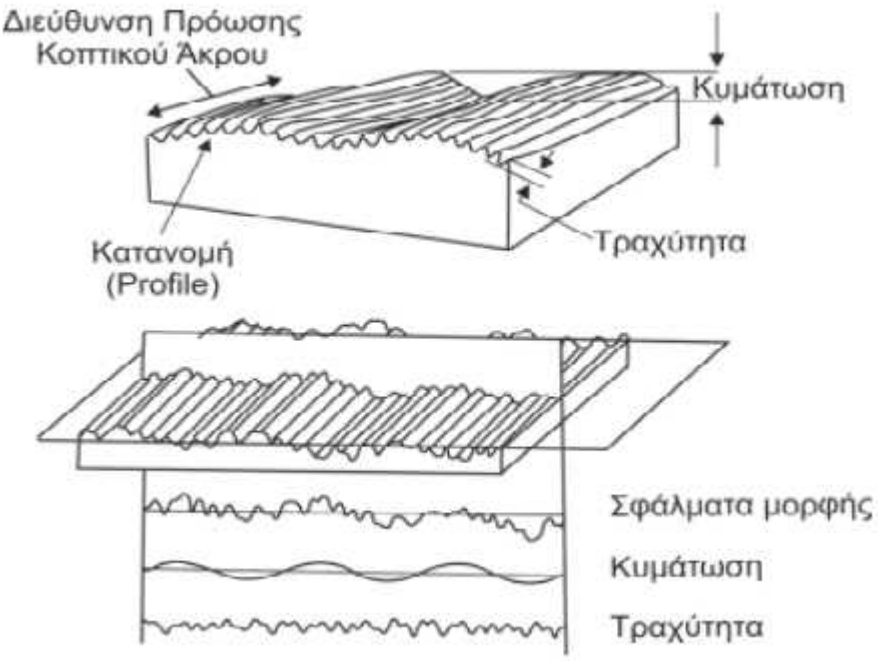
Κατεργάζοντας ένα αντικείμενο είτε με μηχανικό τρόπο είτε χειρονακτικά, η επιφάνεια αναπόφευκτα παρουσιάζει κάποιες αποκλίσεις από την ιδανική μορφή που ορίζει το μηχανολογικό σχέδιο ως προς την γεωμετρική μορφή της επιφάνειας όπως η κυκλική διατομή ή της επιπεδότητας, κλπ. Οι αποκλίσεις αυτές ονομάζονται ***αποκλίσεις μορφής***.

Ο προσδιορισμός των αποκλίσεων γίνεται χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές μηχανικών, ηλεκτρικών και οπτικών φαινομένων που λαμβάνουν μέρος κατά την σάρωση της επιφάνειας. Η ιχνηλάτηση των ανωμαλιών γίνεται με **τραχύμετρα, κατατομόμετρα ή με τα προφιλόμετρα.** Οι

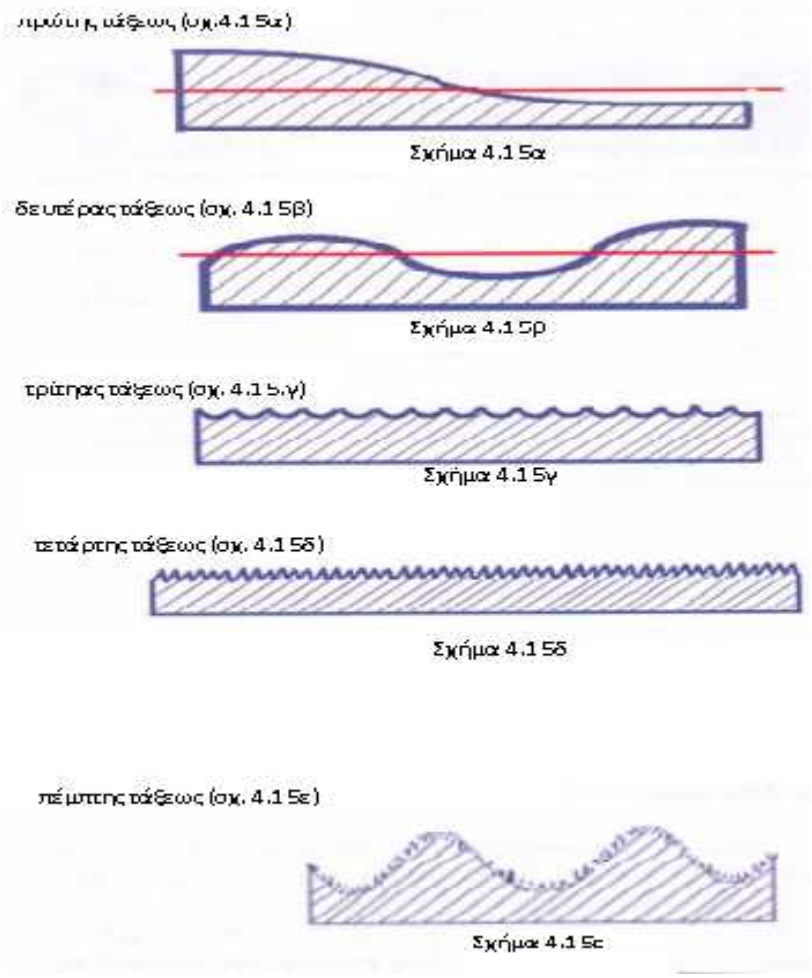
αποκλίσεις της θεωρητικής μορφής από την ονομαστική επιφάνεια λόγω των κατεργασιών μπορούν να καταταγούν σε έξι τάξεις, οι οποίες αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Τάξη αποκλίσεως	Χαρακτηριστικά αποκλίσεων	Αιτίες αποκλίσεων
$1^{η}$	Απόκλιση επιπεδότητας ή Μη στρογγυλότητα	Ο ολισθήρας της εργαλειομηχανής περιέχει σφάλμα. Με την ύπαρξη παραμόρφωσης της εργαλειομηχανής, έχει ως αποτέλεσμα και την παραμόρφωση του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Στρεβλή στήριξη του τεμαχίου.
$2^{η}$	Κυματώσεις / κυματοειδή μορφή	Υψηλός βαθμός ανομοιογένειας στο υλικό του αντικειμένου. Ύπαρξη ταλάντωσης του τεμαχίου ή εργαλείου ή και των δύο. Το κέντρο του τεμαχίου και της μηχανής δε συμπίπτουν.
$3^{η}$	Αυλακώσεις	Κατά την κοπή εμφανίζεται αυτή η μορφή.
$4^{η}$	Ρωγμές. Ανωμαλίες σε μορφή λεπιών κ.λπ.	Ατέλειες στον τροχισμό του κοπτικού εργαλείου. Φθορά εργαλείου. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται το απόβλητο του τεμαχίου. Επίδραση γαλβανικών επεξεργασιών.
$5^{η}$	Μεταλλογραφικός ιστός	Τρόπος κρυστάλλωσης μετάλλου. Χημικές επιδράσεις ευθύνονται για ανωμαλίες στην επιφάνεια. Φαινόμενο διάβρωσης.
$6^{η}$	Κρυσταλλικός σχηματισμός μετάλλου	Μεταβολές φυσικής- χημικής φύσεως στη λεπτή δομή του υλικού. Παραμορφώσεις στον κρυσταλλικό ιστό, μόνιμες όπως παραμένουσες τάσεις ή ολισθήσεις κρυστάλλων

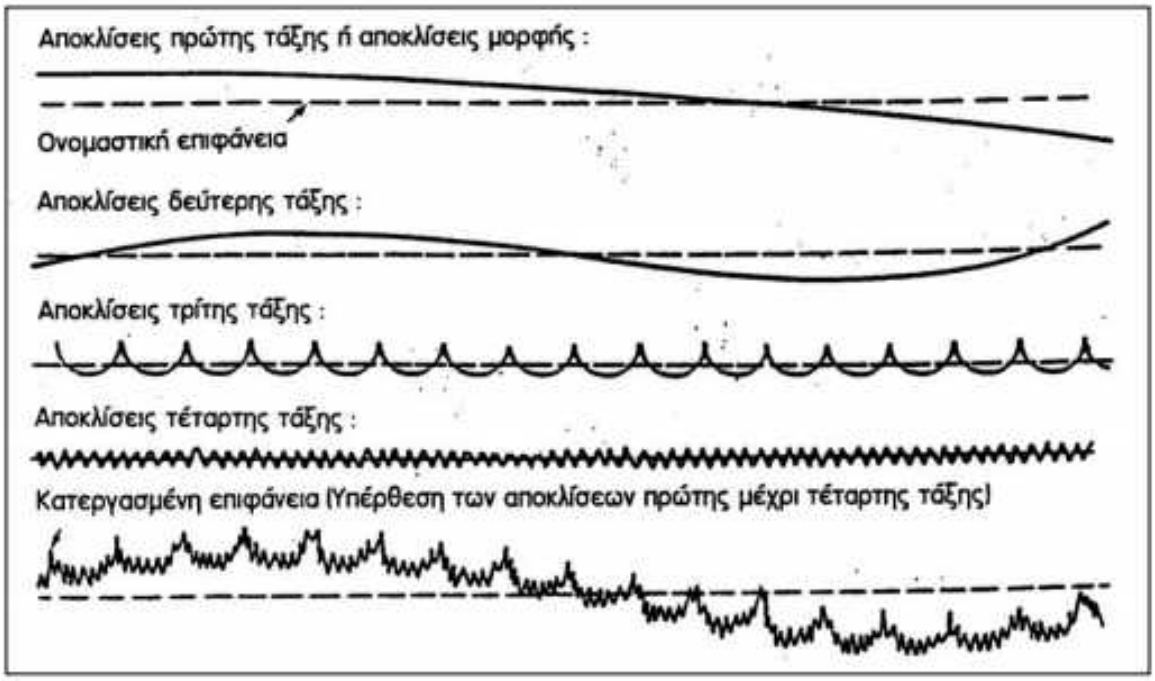
Πίνακας 6.4.: Παραδείγματα αποκλίσεων $1^{ου}$ έως $6^{ου}$ βαθμού σε κατεργαζόμενες επιφάνειες αντικειμένων



Σχήμα 6.14: (α) Αναπαράσταση των γεωμετρικών αποκλίσεων κατά την κατατομή πραγματικής επιφάνειας και (β) ανάλυση αποκλίσεων από την επιπεδότητα.



Σχήμα 4.15 Αποκλίσεις κατά DIN4760 και 4762



Σχήμα 6.16: Προφίλ αποκλίσεων μορφής

- **Αποκλίσεις 1ης τάξης** ονομάζονται αποκλίσεις μορφής και αφορούν τις γεωμετρικές αποκλίσεις μιας επιφάνειας, για παράδειγμα παραλληλότητα, επιπεδότητα κ.λπ.. Μερικές φορές μπορεί να φτάσουν και την τάξη κάποιων χιλιοστών. Η υψομετρική διαφορά στην επιφάνεια από την μορφή που κατέχει λόγω των ατελειών και με την τελική μορφή της που έχει στο τελικό στάδιο κατεργασίας είναι εμφανή. Για παράδειγμα, στην προσπάθεια κοπής μιας μεταλλικής ράβδου, με διάμετρο και υλικό καθορισμένα από τον κατασκευαστεί, με πριονοκορδέλα που έχει προταθεί από τον κατασκευαστή ή από την γνωστή θεωρία, το κοπτικό εργαλείο και το αντικείμενο θα αναπτυχθούν τάσεις ικανές να αλλάξουν την διεύθυνση κοπής.
- **Αποκλίσεις 2ης τάξης** αναφέρεται στις μεγάλες περιοδικές κυματώσεις μιας επιφάνειας. Οι αποκλίσεις 2ου βαθμού είναι της τάξεως του χιλιοστού. Η κυμάτωση γίνεται αντιληπτή στο συνολικό ανάγλυφο από την περιοδική επαναλαμβανόμενη κίνηση του κοπτικού ακολουθώντας συνεχόμενες βυθίσεις και επάρσεις στην επιφάνεια. Για παράδειγμα, κατά την κατεργασία του τεμαχίου στην πλάνη, εάν αμεληθεί η πρόσδεση του στην τράπεζα της μηχανής, τότε θα παρατηρηθεί η κυμάτωση στην κατεργασμένη επιφάνεια.

- **Αποκλίσεις 3^{ης} τάξεως** οφείλονται κυρίως σε λανθασμένες ενέργειες του τεχνίτη και του χειριστή της εργαλειομηχανής. Οι αποκλίσεις 3^{ης} τάξης χαρακτηρίζονται από μερικά δέκατα του χιλιοστού (μm).
- **Αποκλίσεις 4^{ης} τάξεως** προκαλείται και από παραμορφώσεις υλικού κατά την αμμοβολή.
- **Αποκλίσεις 5^{ης} τάξεως** προκαλείται από την δημιουργία κόκκων κατά την επιμετάλλωση, επίσης.

6.6. Μέθοδοι ελέγχου επιπεδότητας και μέτρησης τραχύτητας επιφάνειας

Η επιπεδότητα και η τραχύτητα επηρεάζονται σε διαφορετικό βαθμό από τον καθένα παραγόντων που ακολουθούν:

- Από το υλικό του κατεργαζόμενου αντικειμένου.
- Από τις διαστάσεις της επιφάνειας.
- Από τον τρόπο κατεργασίας.
- Από τις συνθήκες κατεργασίες (πρόωση, βάθος κοπής, ταχύτητα κοπής).
- Από τις εργαλειομηχανές στις οποίες έγινε η κατεργασία (γεωμετρική μορφή κοπτικού εργαλείου, τραχύτητα κοπτικών επιφανειών, φθορά του).

Οι μέθοδοι ελέγχου και μέτρησης επιπεδότητας και τραχύτητας των κατεργασμένων επιφανειών κατηγοριοποιούνται σε **υποκειμενικές μεθόδους** και σε **αντικειμενικές μεθόδους**.

6.6.1. Υποκειμενικές μέθοδοι

- ***Μέθοδος πρότυπων πλακιδίων***

Για τον έλεγχο της τραχύτητας υπάρχουν επιφάνειες οι οποίες συγκρίνονται με την επιφάνεια του αντικειμένου. Η σύγκριση υλοποιείται με το νύχι του χεριού. Αρχικά σύροντας το νύχι στην εξεταζόμενη επιφάνεια και αμέσως έπειτα στις πρότυπες επιφάνειες που φαίνονται όμοιες στην μετρούμενη τραχύτητα. Κάποια από αυτές δημιουργεί το αίσθημα της ίδιας κλίμακας τραχύτητας.

Παλαιότερα, οι πρότυπες επιφάνειες ήταν σε δύο μεταλλικά ελάσματα και αργότερα αντικαταστάθηκαν από πλαστικά φύλλα. Κάθε πλαστικό φύλλο έχει 12 δείγματα επιφανειών. Οι πρότυπες επιφάνειες είναι κατανεμημένες σε 10 βαθμούς τραχύτητας. Με την αναφερθείσα μέθοδο ένας έμπειρος τεχνίτης μπορεί να αντιληφθεί τον βαθμό τραχύτητας μέχρι και 1μm.

- ***Μέθοδος μικροσκοπίου.*** Καλύτερη σύγκριση γίνεται, δηλαδή με μεγαλύτερη ακρίβεια όταν οι πρότυπες επιφάνειες και η εξεταζόμενη τοποθετηθούν κάτω από ένα μικροσκόπιο.
- ***Μέθοδος κωνικού κανόνα.*** Κατά την μέθοδο αυτή, τοποθετείται η αιχμηρή ακμή ενός κωνικού εργαστηριακού κανόνα στην εξεταζόμενη επιφάνεια. Τα σχηματιζόμενα διάκενα μεταξύ της ακμής αυτής και των ανωμαλιών που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια του τεμαχίου, δίνουν ένα μέτρο τραχύτητας. Στην μέθοδο αυτή υπεισέρχονται και οι αποκλίσεις μορφής.

Οι υποκειμενικές μέθοδοι ενδείκνυνται σε ελέγχους τραχυτήτων κατασκευών που οι απαιτήσεις δεν είναι μεγάλες.

6.6.2. Αντικειμενικές μέθοδοι

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή των μηχανικών μετατοπίσεων σε ηλεκτρικά σήματα ονομάζονται **μορφοτροπείς ή στοιχεία αντίληψης (pick-ups).** Οι κατηγορίες που ανήκουν είναι:

1. Διατάξεις διαμόρφωσης φέρουσας συχνότητας
2. Διατάξεις τάσης ή έντασης.

Σχήμα 6.18.

Στο διπλανό σχήμα αναπαριστάται ένα τραχύμετρο που ανήκει στην κατηγορία «διατάξεις διαμόρφωσης φέρουσας συχνότητας», που σημαίνει η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος εξαρτάται από τη θέση που έχει ο στυλίσκος. Χρησιμοποιείται κατά προτίμηση στον εργαστηριακό χώρο επειδή το κόστος τους είναι αρκετά υψηλό. Στο εικονισμένο όργανο η ακρίβεια και η ευαισθησία του δεν εξαρτάται από το μέγεθος τραχύτητας της επιφάνειας, είναι όμως πολύπλοκες.

Σχήμα 6.19.

Στο διπλανό σχήμα αναπαριστάται ένα τραχύμετρο που ανήκει στην κατηγορία «διατάξεις τάσης ή έντασης», που σημαίνει ότι η διαφορά δυναμικού που παράγεται εξαρτάται από την κίνηση του στυλίσκου πάνω στην εξεταζόμενη επιφάνεια. Λόγω ότι ο στυλίσκος ακολουθεί την πορεία των ανωμαλιών της επιφάνειας, οι εναλλαγές της συχνότητας του εναλλασσόμενου ηλεκτρικού μεγέθους θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 1Hz. Η χρήση του στις συνηθισμένες μηχανολογικές επιφάνειες είναι αρκετά καλή σε αντίθεση με τις επιφάνειες που έχουν μειωμένη τραχύτητα που η ευαισθησία εκεί είναι μειωμένη. Ο χειρισμός του είναι εύκολος και σχετικά χαμηλού κόστους.

Τέλος, συνιστώνται για επιτόπιες μετρήσεις. Η εμπορική μορφή τους είναι φορητά ή εργοταξιακά τραχύμετρα.

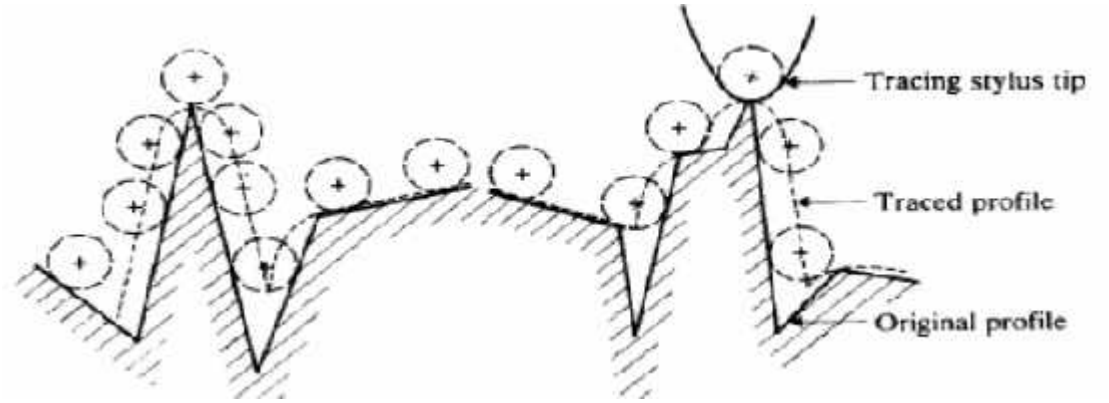
Η κατατομή που προκύπτει από μία μέτρηση χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε ψηφιακό ή μη όργανο, παρουσιάζει κάποιο σφάλμα. Επομένως, καμία αναπαράσταση της πραγματικής κατατομής δεν είναι ακριβή.

Οι αποκλίσεις των ψηφιακών οργάνων προέρχονται από τα εξής αίτια:

I. Παρουσίαση ηλεκτρονικού θορύβου, κοινώς παράσιτα, τα οποία οφείλονται για την επίτευξη έλλειψης γραμμικότητας του σήματος. Αποφυγή της παραλλαγής της μετρούμενης τιμής μπορεί να επιτευχθεί ένα το ηλεκτρονικό σήμα φιλτραριστεί από κατάλληλα μηχανικά ή ηλεκτρονικά φίλτρα.

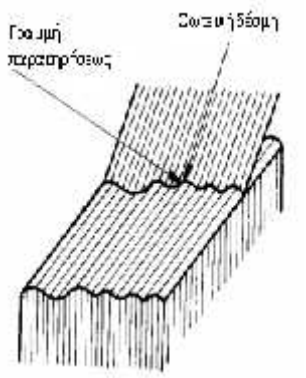
II. Η κατασκευή αυτή καθεαυτή της ακίδας του οργάνου. Οι πεπερασμένες διαστάσεις του στυλίσκου δεν επιτρέπουν την αναγνώριση ανωμαλιών μικρότερων της ακτίνας καμπυλότητας του.

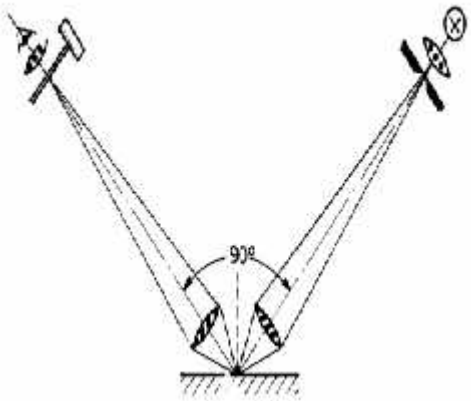
III. Η ακίδα αντιλαμβάνεται μόνο τις διαστάσεις που είναι ίσες ή μεγαλύτερες από την ακτίνα καμπυλότητας της ίδιας.



Σχήμα 6.18

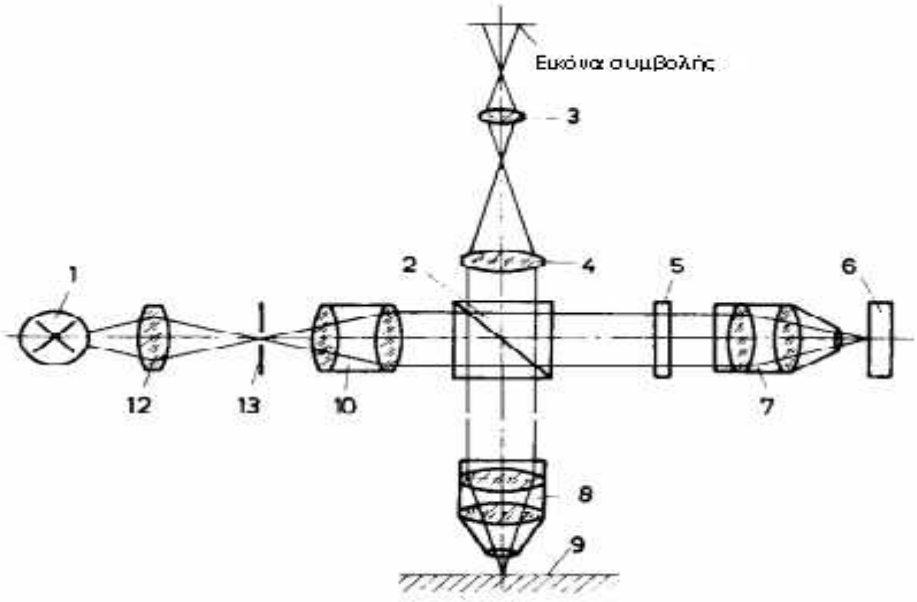
- **Μέθοδος Schmaiz.** Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο, στην εξεταζόμενη επιφάνεια προσπίπτει μια φωτεινή δέσμη με γωνία 45°. Με το μικροσκόπιο οπτικής δέσμης, που σχηματίζει με την φωτεινή δέσμη 90°, είναι εφικτό να παρατηρηθεί και να φωτογραφηθεί η κατεργαζόμενη επιφάνεια και να μετρηθεί, σαφώς την τραχύτητα.





Σχήμα 6.20 **Σχήμα 6.21** **Σχήμα 6.22**

- **Μέθοδος δια συμβολής.** Με την μέθοδο της συμβολής δύναται να μετρηθούν πολύ μικρότερες τιμές τραχύτητας σε σύγκριση με την προηγούμενη μέθοδο.



Σχήμα 6.23 Μέθοδος συμβολής

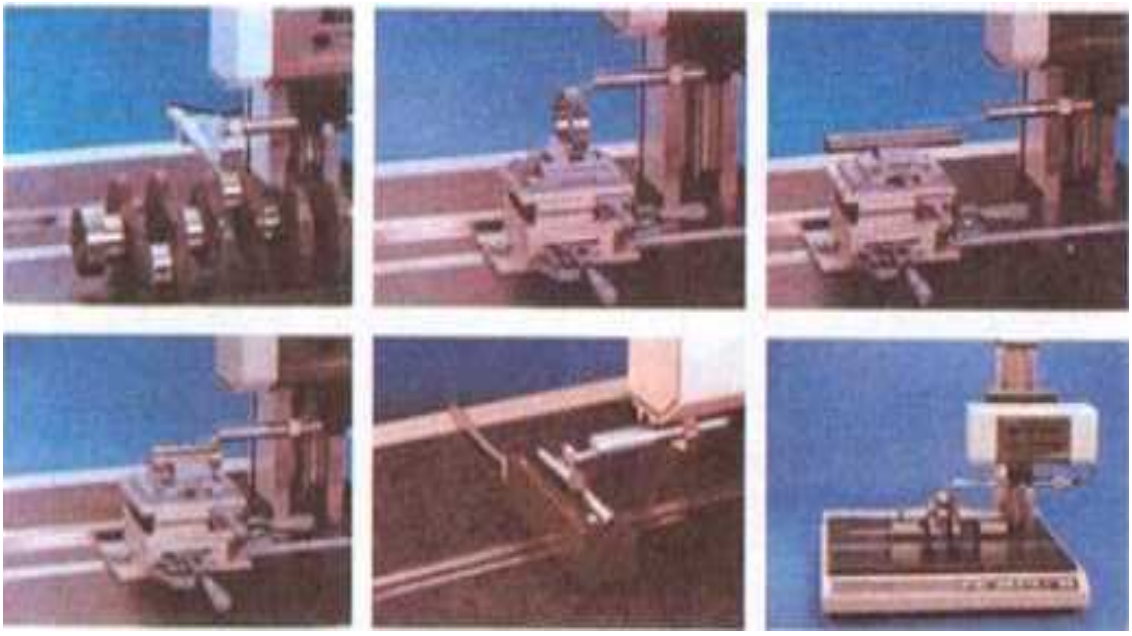
Από την πηγή (1), το μονοχρωματικό φως προσπίπτει στο συλλέκτη (12) και άγεται μέσω του διαφράγματος (11) στους φακούς (10), όπου διαμορφώνεται σε παράλληλη φωτεινή δέσμη και με την βοήθεια του πρίσματος (2) διασπάται σε δύο μέρη (Α) και (Β). Το μέρος (Α) ακολουθεί την πορεία 2,5,7,6 όπου και ανακλάται και διαγράφει την πορεία αντίστροφα, δηλαδή 6,7,5,2,4 και καταλήγει στον φακό (3). Το μέρος (Β) ακολουθεί την πορεία προς τον φακό (8) παρομοίως με την πορεία του μέρους (Α). Αφού προσπέσει στην ελεγχόμενη επιφάνεια ακολουθεί την αντίστροφη πορεία, δηλαδή 9,8,2,4 για να καταλήξει στον φακό (3).

- **Μέθοδος Forster**

Κατά την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένα όργανο το οποίο έχει στέλεχος με αδαμάντινη ακίδα που μπορεί και ανεβοκατεβαίνει ανάλογα με το ύψος των ανωμαλιών της επιφάνειας που συναντάει. Η επιφάνεια του εξεταζόμενου τεμαχίου παραμένει σταθερή και η ακίδα κινείται ευθύγραμμα μηχανικά με σταθερή ταχύτητα. Υπάρχει συνεχή επαφή της ακίδας με την επιφάνεια που προκαλεί μετακινήσεις του στυλίσκου, οι οποίες μετατρέπονται κατάλληλα σε μεταβολές τάσης. Οι μεταβολές τάσης ενισχυμένες ηλεκτρονικά και καταγραμμένες μεταφράζονται ως οι αποκλίσεις του πραγματικού περιγράμματος της επιφάνειας από την κεντρική γραμμή.

Με την τοποθέτηση ενός ειδικού πέδιλου πριν το στυλίσκο, που ολισθαίνει στην επιφάνεια κατά την διάρκεια της μέτρησης, δημιουργεί την κεντρική γραμμή του οργάνου. Οι μετακινήσεις του στυλίσκου οφείλονται για τις μεταβολές της τάσεως, οι οποίες οδηγούνται σε κυκλώματα ενισχύσεως και ολοκληρώσεως. Η έξοδος των παραπάνω τάσεων ή εντάσεων δίνουν την μέση τιμή της τραχύτητας R_a (τιμή CLA).

Η κίνηση της ακίδας μεγεθύνεται οπτικά 1000:1 μέχρι 2000:1 είτε πολλαπλασιάζεται με ηλεκτρικό τρόπο είτε με μεταβολή της επαγωγής ή της χωρητικότητας είτε πιεζοηλεκτρικά. Το όργανο φωτογραφίζει συνεχώς και την καταγράφει σε ειδικό χαρτί, από όπου μετράται η τραχύτητα επιφάνειας, όταν τελειώσει η εργασία.



Εικόνα 6.24: Σύγχρονο τραχύμετρο

Τραχύμετρο Surtronic 3+

Όλα τα τραχύμετρα σαν κύριο σκοπό έχουν την ιχνηλάτηση των ανωμαλιών μίας επιφάνειας με την βοήθεια ενός στυλίσκου.

Ακολουθείται ή ίδια διαδικασία με τα υπόλοιπα τραχύμετρα. Η αρχή της διαδικασίας είναι η σάρωση της εξεταζόμενης επιφανείας με το κινούμενο στέλεχος του οργάνου και στη συνέχεια η μετατροπή τους σε ηλεκτρικό σήμα των κατακόρυφων μετατοπίσεων του στυλίσκου. Το ηλεκτρικό σήμα καταγράφεται σε ένα αναλογικό όργανο όπου φιλτράρεται και ενισχύεται.

Η σύνδεση του αναλογικού οργάνου με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή δίνει τις δυνατότητες του ταχύ υπολογισμού των διάφορων μετρητικών παραμέτρων της επιφάνειας όσο αφορά την γεωμετρία, την δυνατότητα ψηφιοποίησης του σήματος και την αναπαραγωγή του γραφικά.

Σχήμα 6.25 Τραχύμετρο Surtronic 3+

6.7. Συμβολισμός

Τα συστήματα τυποποιήσεως που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα είναι τα ακόλουθα.

- *Απλό σύστημα αντεστραμμένων τριγώνων (Ὕ).* Το απλό σύστημα (OIN 140 φύλλο 2/1931), ήταν το πρώτο που αναπτύχθηκε στην Ευρώπη και χρησιμοποιείται στα μηχανολογικά σχέδια για την ένδειξη τραχύτητας.

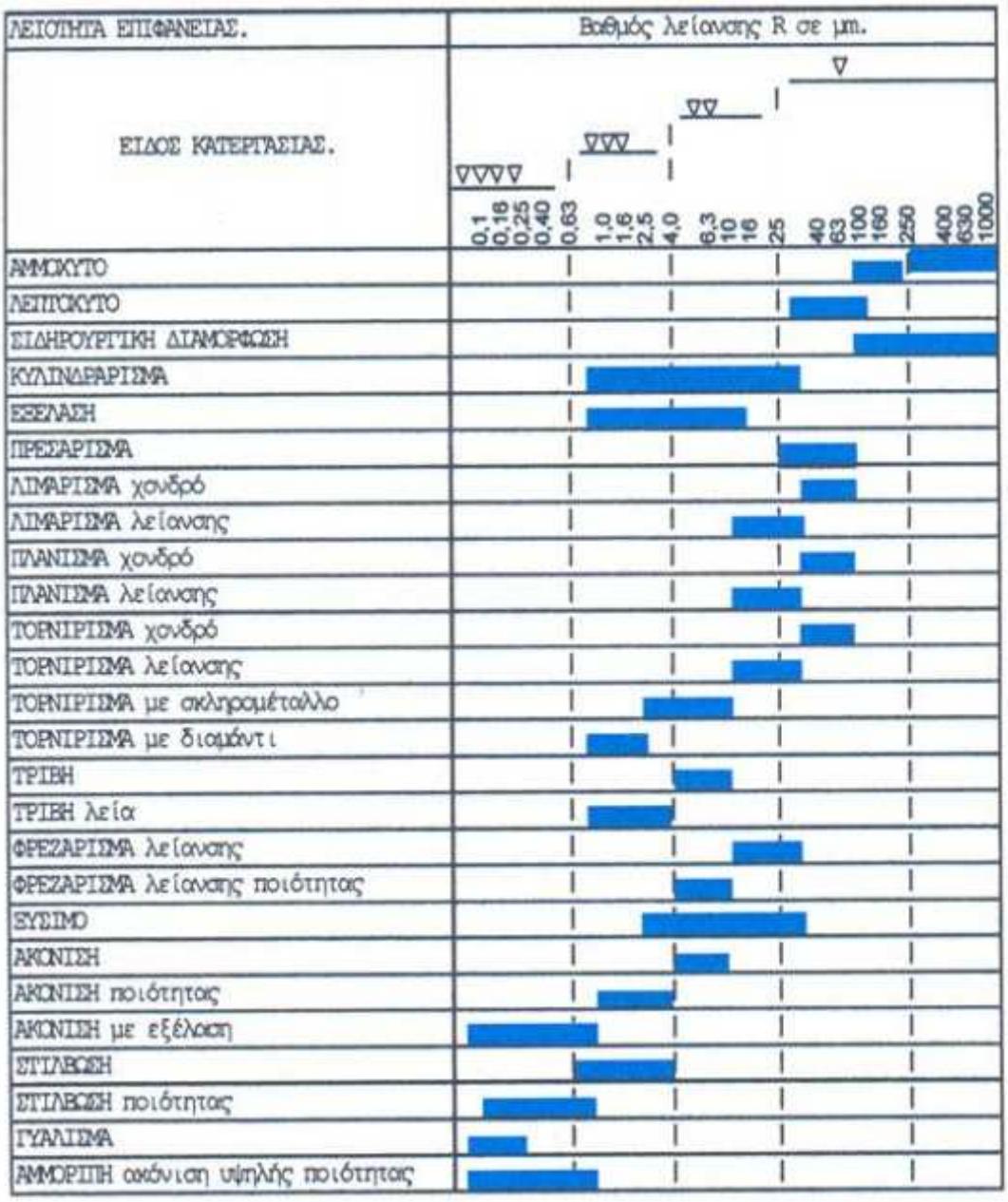
Σύμβολο	**Χαρακτηριστικά επιφάνεια**
Κανένα σύμβολο	Την τελική μορφή ενός τεμαχίου δίνεται από τον τρόπο κατασκευής του ή τρόπο κατεργασίας εξαιρώντας την διαδικασία κοπής. Τρόποι διαμόρφωσης αναφέρονται η χύτευση, η κοπή με οξυγόνο, κτλ..
^^	Τα τεμάχια που έχουν κατεργαστεί με τους παραπάνω τρόπους αλλά διεξοδικότερα.
	Τα τεμάχια που έχουν κατεργαστεί με κοπή και η τραχύτητα είναι αισθητή στην επαφή με τα μάτια ή την όραση. Ανήκουν οι επιφάνειες που οι αποκλίσεις τραχύτητας κατηγοριοποιούνται στη $3^{η}$ και $4^{η}$ τάξη.
	Τα τεμάχια που έχουν κατεργαστεί με κοπή αλλά επιμελέστερα και ανήκουν στην κατηγορία

	αποκλίσεων 3^{ης} και 4^{ης} τάξεως.
	Επιφάνειες που σε όλο το μήκος και το πλάτος έχουν ομοιογένεια και στιλπνότητα. Η κατεργασία έχει γίνει με μεγάλη προσοχή και πλήρως λεπτομερή. Οι αποκλίσεις τραχύτητας 3^{ου} και 4^{ου} βαθμού δεν είναι ορατές στον παρατηρητή δίχως όργανο μέτρησης.

Πίνακας 6.5: Συμβολισμός και χαρακτηριστικά των τραχυτήτων

- Σύστημα κεντρικής γραμμής ή σύστημα «Μ» όπου περιγράφτηκε πληρέστερα παραπάνω.

Με την προδιαγραφή DIN 3141/1960 και DIN 150 1302, ο συμβολισμός με τα αντεστραμμένα τρίγωνα συνδέεται με την έννοια του μέγιστου βάθους τραχύτητας μιας επιφάνειας.



Πίνακας 6.26: Πιθανό μέγεθος τραχύτητας για επιφάνειες με διάφορους μεθόδους κατεργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

7.1. Εισαγωγή στην κανονική κατανομή

Οι λόγοι που η κανονική κατανομή θεωρείται η σπουδαιότερη κατανομή της *Στατιστικής* και της *Θεωρίας Πιθανοτήτων* είναι ότι πολλές μεταβλητές περιγράφονται σε ικανοποιητικό βαθμό από την κανονική κατανομή ή από άλλες κατανομές που μπορούν αν προσεγγισθούν από την κανονική και οι ιδιότητες της αποτελούν το θεμέλιο στη Στατική Συμπερασματολογία.

Το μεγάλο εύρος των εφαρμογών που αντιπροσωπεύει οφείλεται σε ένα ισχυρό αποτέλεσμα της Θεωρίας Πιθανοτήτων. Επιβεβαιώνεται και πειραματικά ενώ πρόκειται για το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα, το οποίο θεμελιώθηκε το 1733 από τον Abraham De Moivre και αργότερα, το 1812 από τον Laplace. Σύμφωνα με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα, ο μέσος όρος ενός μεγάλου πληθυσμού διαφόρων τύπων (ανεξάρτητες) μεταβλητών, ανεξάρτητα από το ποια κατανομή ακολουθούν, προσεγγίζουν την κανονική κατανομή. Έχοντας ως οδηγό αυτό το θεώρημα γίνεται κατανοητό ή εφαρμοσιμότητα σε πειράματα και φαινόμενα. Οι τιμές διαφόρων μεταβλητών είναι το άθροισμα επιδράσεων πολλών ανεξαρτήτων αιτίων – παραγόντων που κανένα δεν υπερισχύει από το άλλο. Για παράδειγμα, ο χρόνος μετακίνησης προς την εργασία κάποιου, είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων όπως η ημέρα της εβδομάδας, η ημερομηνία του μήνα, ο χρόνος αναμονής στα φανάρια, η οδήγηση των υπόλοιπων οδηγών, κ.α.

Όλοι οι παράγοντες με την σειρά τους προσφέρουν θετικό ή αρνητικό αποτέλεσμα διαμορφώνοντας το τελικό αποτέλεσμα. Οι μεταβλητές που εμφανίζονται στα πειράματα μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή.

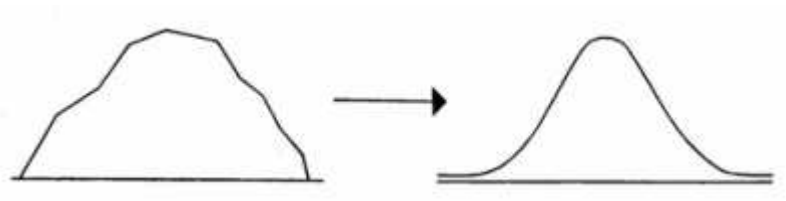
Ο μαθηματικός Carl F. Gauss το 1809 διαπίστωσε σε μία από τις πρώτες εφαρμογές της κανονικής κατανομής ότι μπορεί να περιγραφούν σχετικά επαρκώς οι αστρονομικές μετρήσεις που λαμβάνονται. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι τα τυχαία σφάλματα προσεγγίζονται με την κανονική κατανομή και γι ‘αυτό τον λόγο ονομάζεται και *κατανομή των σφαλμάτων (law of errors) ή κατανομή Gauss (Gaussian distribution).*

7.2. Χαρακτηριστικά και περιγραφή καμπύλης.

Στο σχήμα 7.1. απεικονίζει στην αριστερή πλευρά το ιστόγραμμα τιμών μιας συνεχούς μεταβλητής και δεξιά την κανονική καμπύλη. Επομένως συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνεται το

μέγεθος του δείγματος με ολοένα και μικρότερου πλάτους κλάσεις (c → 0), το πολύγωνο συχνοτήτων προσεγγίζει μία ομαλή και λεία καμπύλη.

Η μορφή της κανονικής καμπύλης είναι κωδωνοειδή, συμμετρική και τα άκρα της τείνουν προς το αρνητικό και θετικό άπειρο ασυμπτωτικά ως προς τον άξονα x'x. Η διάμεσος της καμπύλης ταυτίζεται με την μέση τιμή και την κορυφή. Στο μέσο λαμβάνουν χώρα οι τιμές με την μεγαλύτερη συχνότητα, δηλαδή ο μέσος όρος, ενώ απομακρυσμένα από τη μέση τιμή οι σχετικά λίγες μετρούμενες τιμές.



Σχήμα 7.1.

Η μαθηματική εξίσωση που περιγράφει την ομαλή καμπύλη ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας , συμβολίζεται N (μ , σ^2) και έχει τύπο :

$$f\ x = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \qquad -\infty < x < +\infty$$

Όπου σ > 0 η τυπική απόκλιση και μ η μέση τιμή της μεταβλητής, με $-\infty < x < +\infty$.

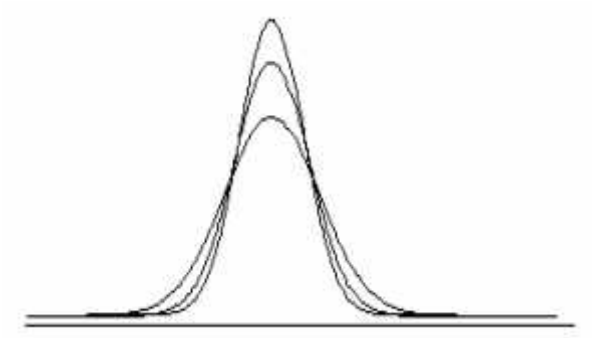
Όπου π ≅ 3,14 και e ≅ 2,71.

Το *εμβαδόν χωρίου* που περικλείεται από την καμπύλη κανονικής και από τον άξονα X ισούται με ***1***. Εκφράζει την πιθανότητα η μεταβλητή τιμή να είναι μεταξύ $-\infty$ *και* $+\infty$.

Σημείο προσοχής είναι ότι μία συγκεκριμένη τιμή x της μεταβλητής X, δεν αντιστοιχεί σε καμία πιθανότητα, αφού στις συνεχείς μεταβλητές η πιθανότητα P (X = x) είναι μηδέν, δηλαδή δεν ισχύει $f\ x = P(X = x)$. Επομένως η $\boldsymbol{f\ x}$ ***εκφράζει πυκνότητα***, όσο μεγαλύτερη η τιμή $f\ x$ τόσο πιο πολλές πιθανότητες υπάρχουν να πάει η μεταβλητή X τιμές κοντά στο x.

Η συνάρτηση πυκνότητας δεν ορίζει μια συγκεκριμένη κανονική καμπύλη αλλά μια ομάδα καμπυλών. Παίρνοντας διαφορετικές παραμέτρους μ και σ σχηματίζονται διαφορετικές κανονικές καμπύλες.

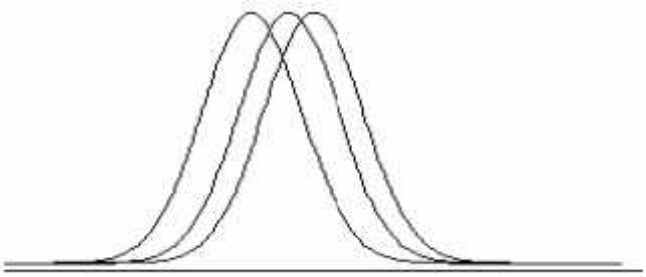
Στα παρακάτω σχήματα δίνονται παραδείγματα.



Σχήμα 7.2.

Οι κατανομές είναι ίδιες, με ίδια μέση τιμή αλλά διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις.

Σχήμα 7.2.

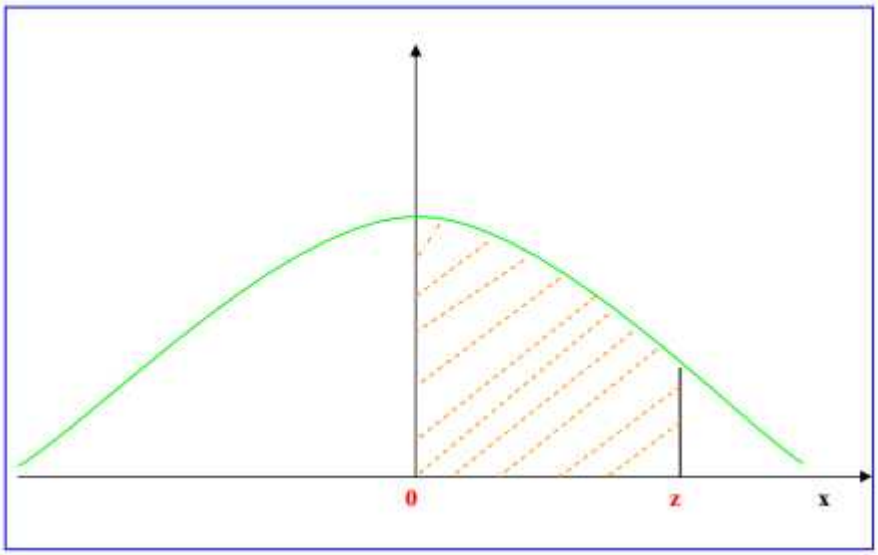


Σχήμα 7.3.

Όλες κανονικές κατανομές με ίδιες αποκλίσεις αλλά με διαφορετική μέση τιμή.

7.3. Υπολογισμός πιθανοτήτων μιας τυχαίας μεταβλητής

Χρησιμοποιώντας τον πίνακα πιθανοτήτων είναι εύκολο να υπολογιστεί οποιαδήποτε πιθανότητα μιας μεταβλητής Z. Ο πίνακας περιέχει τιμές που αντιπροσωπεύουν την επιφάνεια μεταξύ καμπύλης και του άξονα xx’ και που περιέχουν τα σημεία για τα οποία $0 < x < z$. Ισχύει ότι $P (0 < x < z)$ είναι το γραμμοσκιασμένο εμβαδόν του σχήματος 7.4. .



Σχήμα 7.4.

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7703	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952

Με τον παραπάνω πίνακα είναι εφικτό να υπολογιστούν οι ζητούμενες πιθανότητες με τον παρακάτω τρόπο.

Ζητείται η πιθανότητα ώστε μία τυχαία μεταβλητή z να παίρνει τιμές στο διάστημα [0, 1.46], δηλαδή να υπολογιστεί η $P (0 \leq z \leq 1.46)$.

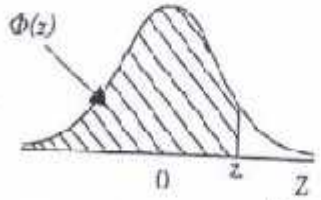
Το 1.46 θεωρείται ότι συντελείται από δύο μέρη : το 1.4 και το 0.006.

Η τομή των δύο παραπάνω αριθμών είναι 0,9279.

Άρα $P (0 \leq z \leq 1,46) = \rho (0 < z < 1.46) = 0.9279$,

Αφού $P (z = 1.46) = 0$ και $P (z = 0) = 0$.

Συνάρτηση Κατανομής της Τυποποιημένης Κανονικής Κατανομής



$P(Z<z)=\Phi(z)$

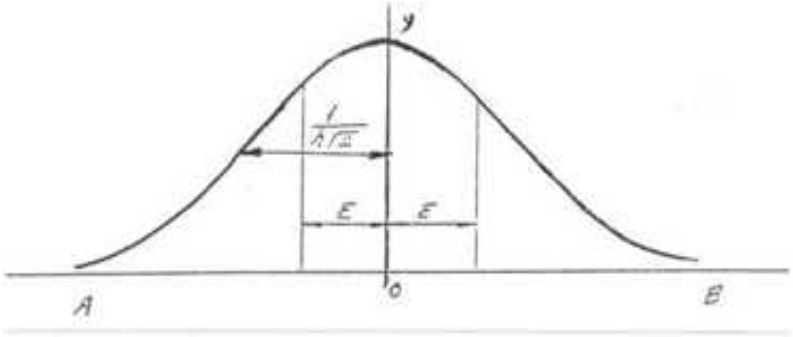
$\Phi(-z) = 1 - \Phi(z)$

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7703	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998
3.5	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998

7.4. Καμπύλη του νόμου Gauss

Για την χάραξη της καμπύλης των σφαλμάτων είναι αναγκαία η λήψη πολλών μετρήσεων, που στην πράξη είναι αρκετά σπάνιο φαινόμενο και στην πραγματικότητα λαμβάνεται ένας πολύ μικρός αριθμός. Το πρόβλημα αυτό λύνει η θεωρία του Gauss, να βρεθεί δηλαδή η περιοχή των δυνατών τιμών $X_1 \ldots Xν$ και την πιθανή διανομή αυτών κατά μήκος της περιοχής αυτής. Σύμφωνα με την καμπύλη σφαλμάτων του Gauss σαν αρχή μέτρησης θεωρείται η μέση τιμή και έχει την μορφή:

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2}$$



Σχήμα 7.5.

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω η καμπύλη είναι συμμετρική ως προς τον άξονα Y και το μέγιστό του είναι για x = 0 και η τιμή του είναι $y\mu = \frac{h}{\sqrt{\pi}}$. .

Σε απόσταση $1/\sqrt{2}$ από τον άξονα των y έχει δύο συμβατικά σημεία καμπής.

Ασύμπτωτη ως προς άξονα των x, που θεωρείται άτοπο διότι η πιθανότητα να βρεθεί σφάλμα πολύ μεγάλο έχει κάποια τιμή και δεν είναι μηδέν.

Αναγκαίο για την χάραξη είναι η εύρεση μέσης τιμής των μετρήσεων, Xm = ΣXi/N, η οποία θα ληφθεί ως αρχή μετρήσεων και τιμή της παραμέτρου h. Προτιμότερο είναι να βρεθεί η τιμή της του πιθανού σφάλματος ε, το οποίο συνδέεται με τη σχέση ε= 0,477 / h.

Η εύρεση πιθανού σφάλματος προκύπτει από την μέση τετραγωνική απόκλιση ή *μέση απόκλιση*, της οποίας ο τύπος είναι :

$$m = \quad |xi| \quad \overline{N(N-1)}$$

Όπου Σ το σύμβολο του αθροίσματος.

Μέση τετραγωνική απόκλιση :

$$q = \sqrt{\sum \frac{xi^2}{N-1}} \quad ,$$

όπου xi οι αποκλίσεις, δηλαδή οι απόλυτες τιμές των σφαλμάτων και

N ο αριθμός των μετρήσεων

Πιθανό σφάλμα ε έχει τύπο: $\varepsilon m = 0.845m$

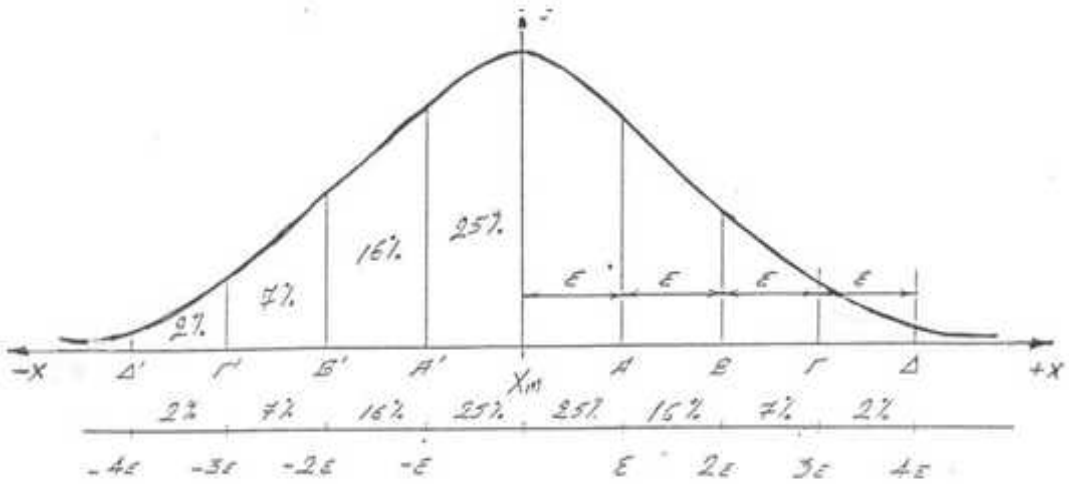
$$\varepsilon q = 0{,}675q$$

Η λύση πολλών προβλημάτων δεν απαιτεί πάντα την χάραξη της καμπύλης παρά μόνο ο υπολογισμός της πιθανότητας σφάλματος εντός ορίων. Η πιθανότητα σφάλματος από –x έως +x είναι η τιμή του ολοκληρώματος που δείχνει το εμβαδόν της επιφάνειας από –x έως +x.

$$\int_{-x}^{+x} y\,dy \qquad \text{όπου} \quad y = \frac{0.269}{\varepsilon}\, e^{-\frac{x^2}{e^2}0.2274}$$

Η συλλογή τεσσάρων μόνο τιμών της συνάρτησης y (x/ε) αρκεί για την λύση.

χ = ε, 2ε, 3ε, 4ε, για αντίστοιχα αποτελέσματα y(x/ε) = 0,50 0,82 0,96 1 και προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 7.6.

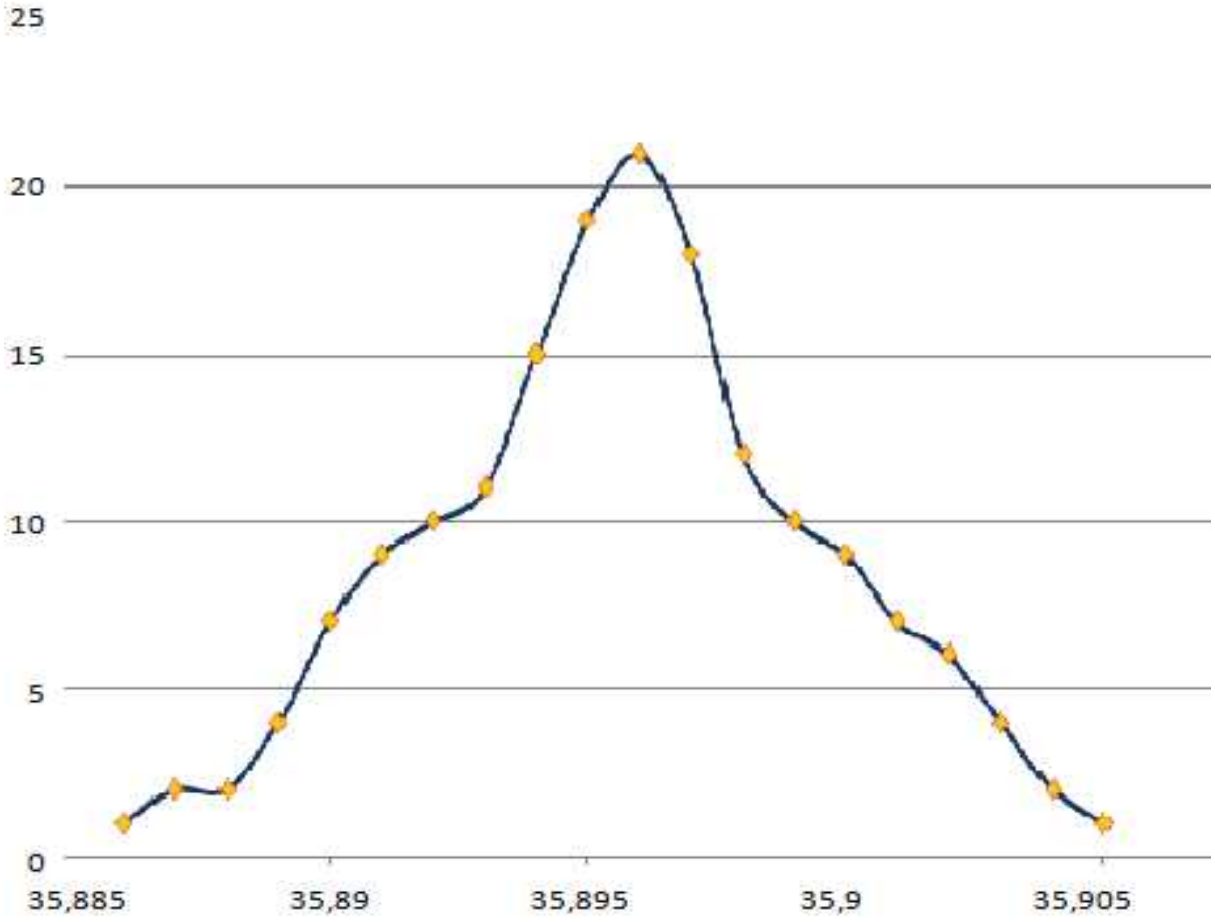
7.5. Εφαρμογή της θεωρίας του Gauss

Στο μηχανολογικό εργαστήριο μετρήθηκε άξονας ονομαστικής διαμέτρου Φ35,900mm και βρέθηκαν οι παρακάτω στον πίνακα αναφερόμενες τιμές με ακρίβεια μέτρησης μικρού και χρήση ψηφιακού μικρομέτρου ακριβείας 0,001mm προκειμένου να προσδιοριστεί το πιθανό σφάλμα ε καθώς και η πιθανότητα εύρεσης τιμών του σφάλματος μεταξύ δυο ορίων.

Στο μηχανολογικό εργαστήριο λήφθηκαν 20 μετρήσεις και συντάχθηκε ο παρακάτω πίνακας.

A/A	Xi (mm)	**A/A**	Xi (mm)
1	35,891	**11**	35,911
2	35,892	**12**	35,909
3	35,893	**13**	35,906
4	35,895	**14**	35,903
5	35,897	**15**	35,9
6	35,898	**16**	35,898
7	35,9	**17**	35,896
8	35,903	**18**	35,894
9	35,906	**19**	35,892
10	35,909	**20**	35,891

Πίνακας 7.1.: Μετρήσεις άξονα



Σχήμα 7.7.

Οι απαιτούμενοι υπολογισμοί σύμφωνα με την θεωρία που αναφέρθηκε παραπάνω, τα μεγέθη που πρέπει να υπολογιστούν είναι Xm, xi, xi^2, m, q και ε. Για τον υπολογισμό τους συντάσσεται ο παρακάτω πίνακας.

A/A	Xi	xi		xi²
		+	-	
1	35,891		8	64
2	35,892		7	49
3	35,893		6	36
4	35,895		4	16
5	35,897		2	4
6	35,898		1	1
7	35,9	1		1
8	35,903	4		16
9	35,906	7		49
10	35,909	10		100
11	35,911	12		144
12	35,909	10		100
13	35,906	7		49
14	35,903	4		16
15	35,9	1		1
16	35,898		1	1
17	35,896		3	9
18	35,894		5	25
19	35,892		7	49
20	35,891		8	64
	717,984	56	52	794

Η μέση τιμή είναι $\frac{\sum |xi|}{N} = \frac{717.984}{20} = 35.899$

X_1 = 35.891 – 35.899 = -0.008 mm ή -8 μm

Ομοίως γίνονται και υπόλοιποι υπολογισμοί.

Μέση απόκλιση είναι : $m = \frac{\Sigma|xi|}{N*(N-1)} = \frac{56+52}{\sqrt{20*19}} = 5.54$

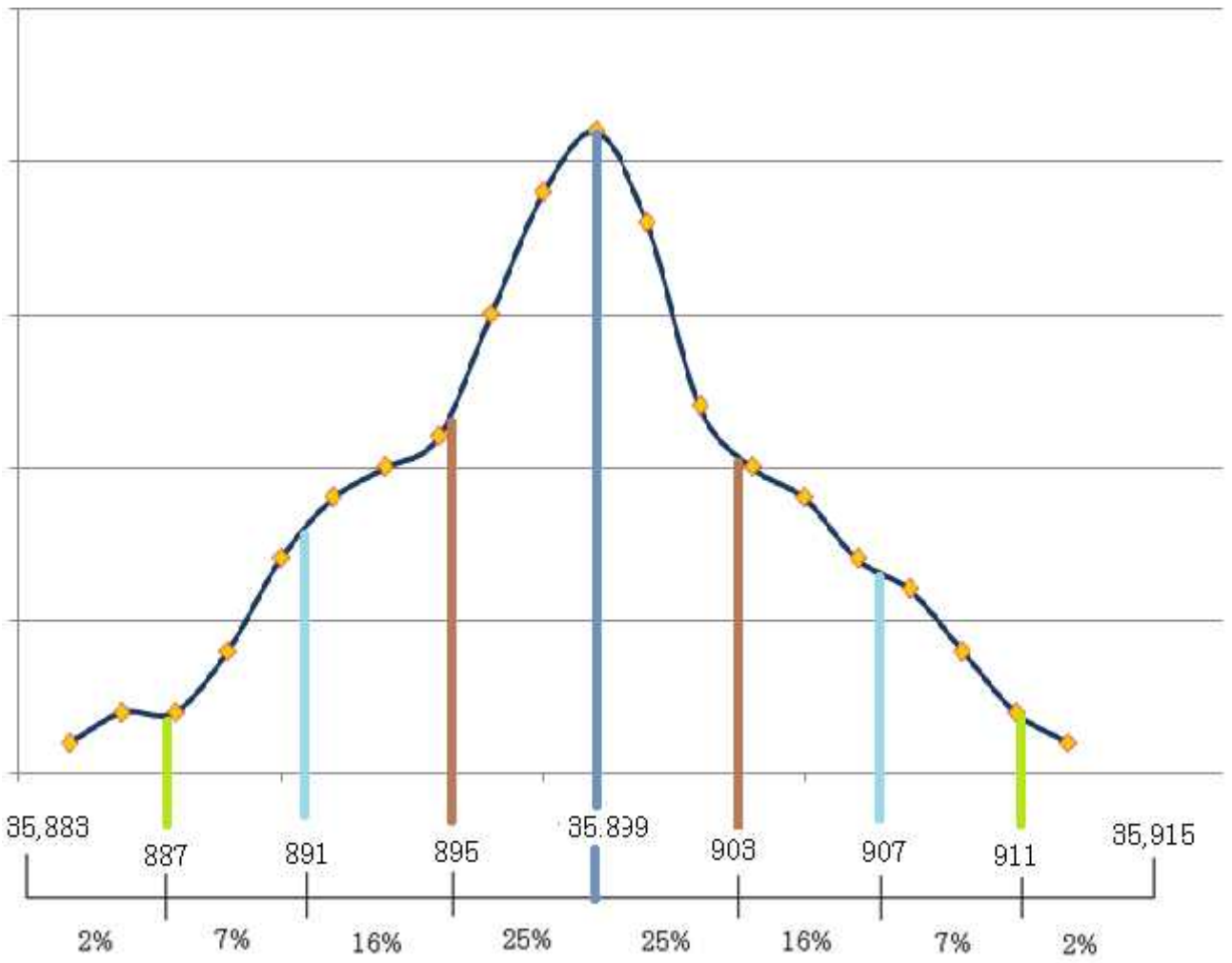
Μέση τετραγωνική απόκλιση: $q = \overline{\frac{\Sigma xi^2}{N-1}} = \overline{\frac{794}{19}} = 6.5$

Επομένως,

$$\varepsilon_m = 0{,}845 * m = 4.6\ \mu m$$

Και $$\varepsilon_q = 0.675 * q = 4.3\ \mu m$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_m + \varepsilon_q}{2} = 4{,}45 = 4\ \mu m$$



Σχήμα 7.8.

Μία μετρούμενη διάσταση αρκεί να αποδίδεται με μία διάσταση-μέτρηση με έναν αριθμό, πρέπει να απεικονίζεται και διάγραμμα Gauss. Στο διάγραμμα φαίνονται τα ακραία όρια της διάστασης καθώς και η συχνότητα εμφάνισης τιμών της διάστασης.

Το διάγραμμα του Gauss στη συγκεκριμένη εργασία έγινε προκειμένου αφενός μεν να προσδιοριστεί το σφάλμα (ε) του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε κατά Gauss και αφετέρου για να προσδιοριστεί η πιθανότητα εύρεσης σφάλματος μεταξύ κατά επιλογή ορίων της μετρούμενης διάστασης, το οποίο σφάλμα ισούται με το εμβαδόν της επιφάνειας συχνότητας τιμών της διάστασης (διάγραμμα Gauss) το περιλαμβανόμενο μεταξύ των ορίων αυτών.

Με άλλα λόγια η πιθανότητα εύρεσης σφάλματος μεταξύ δύο ορίων της μετρούμενης διάστασης ισούται με το πάνω από τα όρια αυτά εμβαδό της επιφάνειας συχνότητας τιμών της διάστασης πράγμα που αποδεικνύεται μαθηματικά.

Το διάγραμμα που βρέθηκε δείχνει ότι μέσα στο 50% υπάρχουν οι περισσότερες πιθανές τιμές. Όλες οι τιμές περιέχονται στα όρια που θέσαμε σύμφωνα με τις παραπάνω πράξεις, επομένως είναι αρκετά εύκολο να βρεθεί να υπολογιστεί το ποσοστό σφάλματος οποιασδήποτε τιμής.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η πιθανότητα να βρεθεί τιμή:

- Μεταξύ 35,890 και 35,905 προφανώς είναι περίπου 80%
- Μεγαλύτερη του 35,910 περίπου 3%
- Μικρότερη του 35,890 περίπου 8% κτλ.

Βιβλιογραφία

- *Μηχανουργική τεχνολογία, Λαζάρου Ε. Λαζαρίδη, Ίδρυμα Ευγενίδου (Αθήνα,1997)*
- *Τεχνολογία Μηχανουργικών Μετρήσεων, Σπυρ. Λοπρέστη, Γεωργ. Μπάχα, , Αθήνα 1977*
- *Μηχανουργική Τεχνολογία για την Δ' τάξη, Παύλος Δημητρίου, Γεώργιος Λάμπρου, τόμος Α, Κύπρος 1983*
- *Τεχνολογία κατασκευής εργαλείων & καλουπιών, Keller Eberhard, Kilgus Roland, Klein Wolfgang, Ott Rudolf, τόμος ΙΙ, Ευρωπαϊκές και τεχνολογικές εκδόσεις 1998*
- *Βασική μηχανολογία, Herwig Braun,(ΕΤΕ 2003)*
- *Τεχνολογία κατασκευής εργαλείων & καλουπιών (τόμος ΙΙ), Eberhard Keller, Roland Kilgus, Wolfgang Klein, Rudolf Ott, ;Ίων (Αθήνα,1998)*
- *Διπλωματική εργασία «Μετρήσεις τεμαχίων με μηχανικά, ηλεκτρονικά και πνευματικά όργανα», Παχυλάκης Μανώλης*
- *http://www.eugenfound.edu.gr/appdata/documents/books_pdf/e_b00026.pdf*
- *Measurement and Instrumentation Principles, Alan S. Morris, Butterworth Heinemann (Great Britain, 2001)*
- *Mechanical Measurements, Richard S. Figliola, Donald E. Beasley, Wiley*

Πηγές

http://www.physics.upatras.gr/UploadedFiles/course_173_6304.pdf

http://users.ntua.gr/gzannis/?p=116#E

http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Organametrisis.pdf

http://ikaros.teipir.gr/lekakis/stuff/diafanies/Chap%201%20Basic%20concepts.pdf

http://physlab.phys.uoa.gr/misc/errors/errors.pdf

https://drive.google.com/viewerng/viewer?a=v&pid=sites&srcid=dGV4bmlraWVrcGFpZGV5c2kuZ3J8bWFpbnxneDozZDJiNDRmZjNkMzljMDgx

http://www.wfdt.teilar.gr/material/Lessons/Texniko_Sx_II.pdf

http://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY203/askiseis/errors_zezas.pdf

http://ikaros.teipir.gr/phyche/Subjects/Varsamis/ergastiria/askisi_1.pdf

https://ph108.edu.physics.uoc.gr/documents/errors.pdf

http://poseidon.library.tuc.gr/artemis/DT2013-0062/DT2013-0062.pdf

http://www.m3.tuc.gr/PROSWPIKO/DIPLWMATIKES/VAK%20MSC.pdf

http://lefterisstamatoulis.tripod.com/index/cim1.pdf

http://ps.privateschools.gr/lykeio/c_lyk/Texniko_Sxedio/Texniko_Sxedio-Biblio_Mathiti.pdf

http://www.stat-athens.aueb.gr/~jpan/statistiki-skepsi-II/chapter9.pdf

http://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/normal010-2.pdf